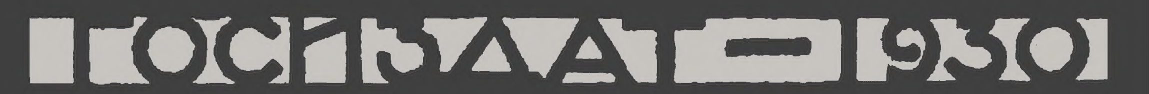
БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА
РАДИО ВСЕМ

Инж. М. А. НЮРЕНБЕРГ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО ДРУЗЕЙ РАДИО

Инж. М. А. НЮРЕНБЕРГ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

ГОСИЗДАТ
1930 г.

ОТПЕЧАТАНО В ТИПОГРАФИИИ «ГУДОК»,
МОСКВА, УЛИЦА СТАНКЕВИЧА, 7.
В КОЛИЧЕСТВЕ 12.000 ЭКЗ.
ГЛАВЛИТ № А86782.
ЗАКАЗ № 1647.

ОТ РЕДАКЦИИ.

Настоящая книга имеет целью дать читателям те краткие сведения по электротехнике, которые необходимы радиолюбителю в его повседневной практике. Рассчитана книга на читателя, знакомого в общих чертах с основными электрическими и магнитными явлениями (например, по 1-й части книги «Что такое радио» этой же серии), и поэтому в настоящей книге изложение начинается непосредственно с законов электрического тока. Недостаток места не позволяет изложить с достаточной полнотой все вопросы, относящиеся к области «электротехники радиолюбителя». Однако мы надеемся, что эта книга все же окажет радиолюбителю существенную помощь при решении простейших электротехнических задач, с которыми ему приходится сталкиваться.

ГЛАВА I. ПОСТОЯННЫЙ ТОК.

Электрический ток.

Если взять какие-нибудь два тела, заряженные положительным и отрицательным электричеством до одинаковой степени (рис. 1), и соединить их друг с другом каким-нибудь металлическим предметом, например, куском медной проволоки, то через очень короткий промежуток времени электрические заряды в этих телах исчезнут — тела окажутся нейтральными. Произойдет это потому, что избыток электронов с отрицательно заряженного тела перейдет по проволоке на тело, где электронов не хватает (положительно заряженное).

Рис. 1.

Движение электронов по проводу мы называем *электрическим током*. В нашем примере мы имели дело с очень кратковременным электрическим током — у нас передвижение электронов по проволоке происходило в течение очень небольшого промежутка времени. Для получения продолжительных токов нужно иметь какой-либо «источник тока», например гальванический элемент; при соединении пластин (полюсов) элемента куском проволоки (рис. 2) мы также будем наблюдать перенос электронов с цинковой на медную пластину, т. е. электрический ток. Но этот ток, в случае гальванического элемента, резко отличается от описанного выше случая. Дело в том, что в элементе по мере

перехода электронов по проволоке с отрицательной пластины на положительную, избыток электронов на отрицательной пластине будет все время пополняться за счет химических процессов внутри элемента. Иначе говоря, все время будет поддерживаться первоначальный избыток и недостаток электронов на пластинах. Вследствие этого по проволоке, соединяющей пластины, будет все время происходить движение электронов от отрицательной к положительной пластине. Мы будем иметь прохождение по проволоке электрического тока, продолжающееся долгое время. Электроны в этом случае все время переходят по проволоке с отрицательной пластины на положительную, откуда, в силу химических взаимодействий внутри элемента, переходят через жидкость на отрицательную пластину, при чем, на отрицательной пластине имеется всегда избыток электронов, а на положительной — их недостаток.

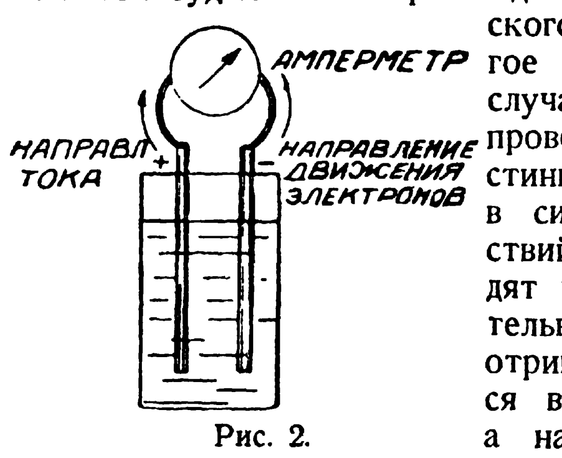


Рис. 2.

В электротехнике существует много приборов, позволяющих обнаружить прохождение электрического тока по проволоке; один из этих приборов называется амперметром (с устройством его мы познакомимся ниже). Если включить этот амперметр в провод, по которому проходит электрический ток, то стрелка амперметра отклонится в сторону. В нашем первом опыте отклонение стрелки произойдет только на одно мгновенье, после чего стрелка станет в свое первоначальное положение; в опыте же с гальваническим элементом стрелка отклонится и будет находиться в этом положении все время, пока обе пластины элемента соединены друг с другом проволокой. Это показывает, что в проволоке все время происходит передвижение электронов, все время протекает электрический ток. Такой электрический ток, когда электроны все время двигаются в одном направлении называется постоянным током.

В то время, когда было открыто явление прохождения электрического тока, ученые не подозревали о существовании электрона и истинная природа электрического тока им не была известна. Условно в то время было принято, что электричество течет по проводу от положительной пластины элемента к пластине отрицательной, т.-е. как раз в направлении, обратном фактическому движению электронов. Такое условное направление электрического тока сохранилось до настоящего времени по той простой причине, что если бы теперь захотели изменить определение направления тока, то понадобилось новое направление всюду особо оговорить, так как старые учебники и журналы, которыми приходится часто пользоваться, применяли определение направления тока, обратное действительному. Все это вызвало бы чрезвычайную путаницу. Поэтому и в настоящее время принято считать, что электрический ток течет от плюса к минусу; следует лишь помнить, что действительное движение электронов происходит в обратном направлении.

Проводники и изоляторы.

В описанном выше опыте мы соединяли пластины, или, как их иначе называют, полюсы гальванического элемента, металлической проволокой. Если бы мы эти полюсы соединили между собою куском сухой веревки или стеклянной палочкой, то мы заметили бы, что по веревке или стеклянной палочке электрический ток течь не будет; это объясняется тем, что названные материалы электрического тока не проводят. Все вещества, встречающиеся в природе, разделяются, в смысле прохождения электрического тока, на две группы: на проводники, материалы способные проводить электрический ток, и изоляторы, материалы не проводящие электричества. Изоляторы иначе называются диэлектриками. К проводникам относятся все металлы, растворы солей и кислот в воде и уголь; к изоляторам относятся стекло, фарфор, слюда, дерево, шелк, бумага и т. д.

Способность вещества проводить или не проводить электричество зависит от его внутреннего строения. Во всех

твердых проводниках существуют так называемые свободные электроны, т.-е. такие электроны, которые слабо связаны с атомами и могут свободно передвигаться между атомами, переходя с одного атома на другой. Вот эти-то «свободные» электроны и участвуют в образовании электрического тока [1]). При присоединении провода к гальваническому элементу свободные электроны начинают передвигаться от отрицательного к положительному полюсу и на их место поступают новые электроны с отрицательного полюса. В изоляторах мы подобных свободных электронов не имеем; здесь все электроны прочно связаны каждый со своим атомом и передвигаются только вращаясь вокруг атома. Таким образом при соединении изолятора к полюсам элемента мы никакого передвижения электронов через изолятор не имеем и электрический ток отсутствует.

Количество электричества и сила тока.

До сего времени мы рассматривали явления только с качественной стороны, не касаясь стороны количественной. Остановимся на рассмотрении основных величин, с которыми приходится иметь дело в электротехнике.

Первая величина, с которой мы познакомимся, это количество электричества или, иначе, величина электрического заряда. Количество электричества мы могли бы характеризовать числом электронов. Например, говоря, что данное тело имеет электрический заряд, величина которого определяется столкими-то электронами (недостающими или избыточными) — мы этим самым полностью определяем количество электричества в данном теле, так как количество электричества, содержащееся в одном электроне, есть величина постоянная и вполне определенная.

Но определение количества электричества числом электронов представляет большие практические неудобства, так как количество электричества, содержащееся в одном элект-

[1]) Свойство растворов проводить электрический ток объясняют несколько иначе, но мы на этом останавливаться не будем, чтобы не отвлекаться от нашей основной задачи.

роне очень невелико. Еще до того, как были открыты электроны, количество электричества определялось специальной мерой, носящей название кулона. Эта величина сохранилась и в настоящее время. Соотношение между кулоном и количеством электричества в одном электроне следующее:

1 кулон $= 6{,}28 \times 10^{18}$ электронов $=$ 6.280.000.000.000.000 000 электронов.

Таким образом, если в каком-нибудь теле имеется недостаток в $6{,}28 . 10^{18}$ электронов, то мы говорим, что это тело заряжено положительным электричеством, при чем количество электричества или величина электрического заряда равна одному кулону.

При прохождении электрического тока по проводу в одном случае электронов за определенный промежуток времени проходит больше, чем в другом. Мы говорим, что ток в первом случае больше, чем во втором. Величину электрического тока определяют силой тока. Сила тока показывает какое количество электричества протекает через поперечное сечение проводника в одну секунду. Математически это можно обозначить следующим образом:

$$I \text{ (сила тока)} = \frac{Q \text{ (количество электричества)}}{t \text{ (время)}}$$

За единицу силы тока принят ампер. Ток силою в один ампер, это такой ток, при котором через поперечное сечение проводника в одну секунду проходит один кулон электричества, т.-е.

$$1 \text{ ампер} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ секунду}}$$

Для того, чтобы дать представление о токе силой в один ампер, укажем, что через экономическую лампочку в 100 свечей, употребляющуюся для освещения, проходит ток силою примерно в 1 ампер.

В электротехнике и особенно в радиотехнике очень часто приходится иметь дело с токами, значительно меньше одного ампера. Для того, чтобы не иметь дела с малыми до-

лями ампера, силу тока в этих случаях выражают в миллиамперах или микроамперах. Соотношение этих единиц силы тока с ампером следующее:

$$1 \text{ миллиампер} = \frac{1}{1000} \text{ ампера} = 0{,}001 \text{ ампера.}$$

$$1 \text{ микроампер} = \frac{1}{1000000} \text{ ампера} = 0{,}000001 \text{ ампера.}$$

Ампер обычно обозначается буквой «А», миллиампер— «МА» или «mА», микроампер—« μ А» [1]).

Напряжение.

Если мы будем присоединять один и тот же кусок провода к разным элементам, то мы заметим, что сила тока в проводе будет разная — в одном случае она будет больше, в другом меньше. Эта значит, что одни элементы могут заставлять двигаться через провод большее количество электронов, другие меньшее, т.-е. в этом же проводнике один элемент создает ток большей силы, а другой меньшей силы. Сила тока, создаваемого элементом в данном проводнике, зависит от его свойств, именно от напряжения, даваемого элементом. Мы говорим, что напряжение, даваемое одним элементом, больше или меньше напряжения, даваемого другим элементом, понимая под этим, что один элемент создает в данном проводнике более сильный ток, чем другой.

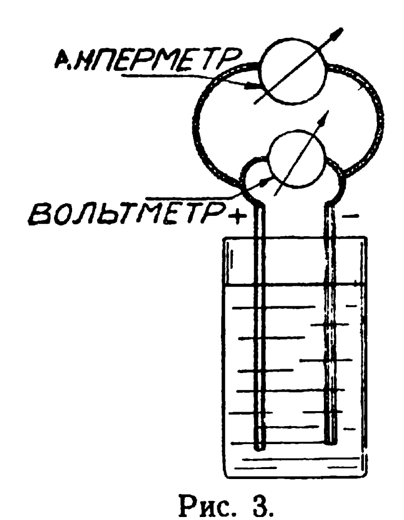


Рис. 3.

Для определения величины напряжения в электротехнике приняты особые единицы — вольты. Так, например, напряжение, даваемое кислотным аккумулятором в нормаль-

---

[1]) μ — греческая буква «мю».

ных условиях, равно 2 вольтам, напряжение элемента Лекланше равно 1,5 вольтам, напряжение батарейки для карманного фонаря = 4,5 вольта и т. д.

Для измерения напряжения источника электрического тока применяется специальный прибор — вольтметр. В отличие от амперметра вольтметр включается в цепь не последовательно с проводом, а присоединяется параллельно полюсам источника тока — к полюсам источника тока (рис. 3). Подробнее с устройством вольтметра мы также познакомимся ниже.

Закон Ома.

Составим электрическую цепь, показанную на рис. 4. Здесь включены Е — источник электрического тока, например, гальванический элемент, А — амперметр, показывающий величину тока (силу тока) и R — кусок какой-нибудь проволоки. Выключатель П служит для замыкания цепи. Когда мы цепь замкнем в этой цепи будет проходить ток, при чем силу тока, или, иначе говоря, количество электронов, протекающих за одну секунду через поперечное сечение проводника, будет показывать амперметр А. Сила тока будет все время оставаться постоянной. Теперь произведем такой опыт. Вместо источника тока Е включим другой источник тока, дающий в два раза большее напряжение. Если теперь замкнуть цепь, то амперметр покажет силу тока в два раза бо́льшую предыдущей. Если напряжение источника тока увеличить в три раза, то и сила тока увеличится в три раза Можно продолжать опыт и дальше, при чем мы обнаружим, что сила тока в цепи будет возрастать во столько раз, во сколько мы будем увеличивать напряжение, даваемое источником тока. Отсюда можно сделать первый, очень важный для нас, вывод: **сила тока прямо пропорциональна напряжению, действующему** в цепи.

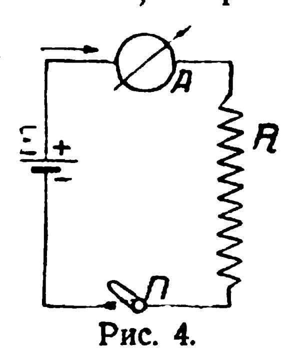


Рис. 4.

Все указанные опыты с заменой источника тока мы производили совершенно не трогая включенного в цепь куска провода. Если мы теперь, оставив в покое включенный гальванический элемент, будем включать разные куски различной проволоки, мы заметим, что сила тока в цепи при различных кусках будет изменяться. Это показывает, что на прохождение электрического тока, кроме напряжения источника тока, влияют также и свойства того проводника, по которому ток проходит. Один проводник пропускает ток лучше, другой хуже. Эта способность проводить электрический ток в разной степени заставила ввести величину, характеризующую данный проводник с точки зрения его способности проводить ток. Такой величиной является электрическое сопротивление проводника. Чем лучше проводник проводит электрический ток, т. е. чем больше сила тока при данном напряжении источника, тем меньше сопротивление проводника.

Таким образом мы пришли ко второму чрезвычайно важному выводу: сила тока обратно пропорциональна сопротивлению цепи. Оба вывода, сделанные физиком Омом, могут быть обобщены в так называемый закон Ома, который говорит, что сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению цепи.

Закон Ома можно написать в следующем виде:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{напряжение}}{\text{сопротивление.}}$$

Обозначая через I — силу тока, через E — напряжение источника тока и через R — сопротивление, можем написать закон Ома в математической форме:

$$I = \frac{E}{R}$$

Сопротивление.

Мы указывали, что разные куски провода по разному проводят электрический ток, и что эту способность проводить электрический ток характеризует так наз. *сопротивление* провода. Ясно, что чем больше сопротивление провода, тем он хуже проводит электрический ток. Сопротивление провода зависит, главным образом, от двух причин — от размеров провода и от материала, из которого провод сделан. Кроме того, сопротивление зависит и от температуры провода, при чем для всех металлов сопротивление будет тем больше, чем выше температура провода.

Чем провод длиннее и чем он тоньше, тем больше его сопротивление. Если обозначить через l длину провода, а через q площадь его поперечного сечения (рис. 5), то сопротивление провода может быть определено формулой:

$$R = \rho \times \frac{l}{q}$$

$$= \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14}{4} d^2 = 0{,}785\ d^2$$

Рис. 5.

В эту формулу входит буква «ρ» (ро); эта буква характеризует материал, из которого провод сделан. Величина ρ носит название *удельного сопротивления* и показывает, чему равно сопротивление провода, длина которого равна одному метру, а площадь поперечного сечения одному квадратному миллиметру. Значение удельного сопротивления для наиболее распространенных металлов и сплавов при температуре в $+16^\circ$ Цельсия дано в следующей таблице:

Таблица удельного сопротивления.

Серебро	0,0159
Медь	0,0175
Алюминий	0,0287
Цинк	0,059
Железо	0,1324

Олово	0,142
Сталь	0,1843
Свинец	0,2076
Нейзильбер	0,301
Никелин	0,45
Константан	0,5
Манганин	0,4
Латунь	0,06—0,09
Нихром	0,7 —0,8

В приведенной выше формуле для определения сопротивления длина провода берется в метрах, площадь поперечного сечения в квадратных миллиметрах, величина удельного сопротивления (ρ) берется из приведенной таблицы, а величина сопротивления (R) получается выраженной в особых единицах для определения сопротивления — в омах.

Величину сопротивления провода приходится подсчитывать довольно часто и для тех читателей, которые не особенно сильны в вычислениях, мы проводим специальную номографическую таблицу для определения сопротивления одного метра провода. В этой таблице (рис. 6) в левом столбце отложены различные значения удельного сопротивления, в среднем столбце толщина (диаметр) провода в миллиметрах, а в правом столбце величина сопротивления в омах. Соединяя линейкой значения ρ и d, мы в точке пересечения линейки с правым столбцом получим значение сопротивления. Полученное сопротивление относится к проводу длиною в один метр и, следовательно, для определения полного сопротивления провода нужно еще полученную величину умножить на длину провода, взятую в метрах.

Кроме этой номограммы, даем таблицу, где указано сопротивление одного метра провода для различных диаметров и наиболее употребительных материалов.

ρ

0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
1
2
3
4
5
6
7
10

Серебро
Медь
Аллюминий
Цинк
Латунь
Платина
Олово
Манганин
Никелин
Константан
Хромоникель

d мм

0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
1
2
3
4
5
6
7
8
10

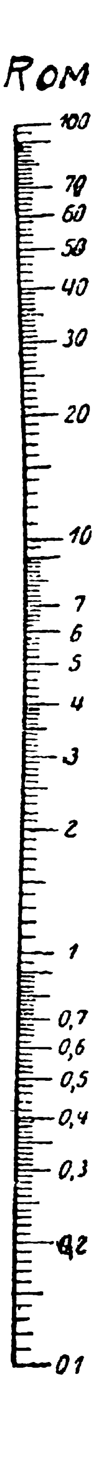


Рис. 6.

Таблица сопротивлений.

Диам. провол. в *мм*	Сечен. провол. в *кв. мм*	Сопротивление 1-го метра в омах				Вес 1 метра в граммах	
		Медь	Манганин Никелин	Константан. Реотан	Хромоникель	Медь, Константан, Реотан, Никелин	Манган Хромоникель
		ρ=0,0175	=0,42	=0,49	=0,9	=8,9	=8 3
0,05	0,00196	8,95	215	250	460	0,018	0,017
0,08	0,0050	3,5	84	98	180	0,045	0,042
0,1	0,0079	2,22	53,2	62	114	0,070	0,065
0,11	0,0095	1,84	44,2	51,5	94,8	0,085	0,079
0,12	0,0113	1,55	37,2	43.3	79.5	0,101	0,094
0,13	0,0133	1,32	31,6	36,8	67,7	0,118	0,110
0,14	0,0154	1,14	27.3	31,8	58,5	0,137	0,128
0,15	0,0177	0,99	23,7	27,7	50 8	0,158	0,147
0,16	0,0201	0,87	20,9	24,4	44,7	0,178	0,166
0,17	0,0227	0,772	18,5	21,6	39,6	0,202	0,188
0,18	0,0255	0,685	16,5	19,2	35,4	0,227	0,212
0,19	0,0284	0,617	14,8	17,2	31,7	0,253	0,236
0,20	0,0314	0,557	13,4	15,6	28,7	0,280	0,261
0,22	0,0380	0 460	11,0	12,9	23,7	0,339	0,317
0,25	0,0491	0,357	8,55	10,0	18,3	0,437	0,407
0,30	0,0707	0,248	5,95	6,95	12,7	0,630	0,585
0,35	0,0962	0,182	4,37	5,15	9,35	0,857	0.800
0,40	0,1260	0,139	3,33	3,89	7,15	1,130	1,045
0,45	0,1590	0,110	2,64	3,08	5,66	1,417	1,32
0,50	0,1960	0,0895	2,15	2,50	4,59	1,750	1,63
0,60	0,2830	0,0618	1,48	1,73	3,18	2,520	2.35
0,70	0,3850	0,0455	1 ,09	1,27	2,34	3,430	3,20
0,80	0,5030	0,0348	0,835	0,975	1,79	4,480	4,18
0,90	0,6360	0,0275	0,660	0,770	1,61	5,670	5,30
1,00	0,7850	0.0223	0,535	0,625	1,15	7,070	6,60
1,20	1,1310	0,0155	0,372	0,443	0,795	10,980	10,25
1,50	1,7670	0,00992	0,238	0,277	0.51	15,750	14,65

Зависимость сопротивления от температуры.

В приведенных выше рассуждениях мы считали, что удельное сопротивление есть величина для данного проводника постоянная, зависящая только от материала проводника. Однако в действительности это не так. Удельное сопротивление зависит не только от материала, но и от температуры проводника. Правда, изменение удельного сопротивления в зависимости от температуры настолько мало, что в пределах 10 — 20° практически заметного изменения сопротивления проводников не наблюдается. Поэтому все приведенные выше данные относительно удельных сопротивлений разных проводников можно с достаточной для практики точностью относить вообще к комнатной температуре. В случае же изменения температуры на сотни или тысячи градусов связанные с этим изменения удельного сопротивления бывают настолько велики, что с ними уже необходимо считаться на практике. Зависимость сопротивления проводников от температуры для разных сортов проводников различна. У всех металлов удельное сопротивление растет с повышением температуры; у многих же неметаллических проводников, например, угля, оно с повышением температуры наоборот понижается. Поэтому, например, экономическая лампа накаливания (с металлической нитью) в накаленном состоянии имеет гораздо большее сопротивление, чем в холодном. Угольная же лампочка в накаленном состоянии обладает гораздо меньшим сопротивлением, чем в холодном. Так как лампами накаливания радиолюбители часто пользуются в качестве сопротивлений, то зависимость сопротивления лампы от температуры накала нужно всегда учитывать.

Для того, чтобы учесть эту зависимость, нужно знать точно, на сколько изменяется сопротивление проводника при изменении температуры. Для этого можно воспользоваться температурным коэфициентом сопротивления, который показывает, на какую долю изменяется удельное сопротивление проводника при изменении температуры на

один градус. Очевидно, что температурный коэфициент металлов положителен (с увеличением температуры сопротивление возрастает), а, например, температурный коэфициент угля отрицателен. (с увеличением температуры сопротивление уменьшается). Так, например, температурный коэфициент меди равен примерно 0,004, т.-е. при изменении температуры на 1 градус сопротивление изменяется на четыре тысячных, или почти на полпроцента. При увеличении температуры на сотни градусов сопротивление увеличится в несколько раз. Таких больших изменений сопротивлений уже никак нельзя не принимать во внимание.

Еще большим температурным коэфициентом обладает вольфрам — его температурный коэфициент составляет примерно 0,005. Нити экономических ламп, а также и большинства электронных ламп, делаются обычно из вольфрама. Легко сообразить, во сколько раз сопротивление накаленной вольфрамовой нити больше, чем в холодном состоянии. Так как температура накаленной нити в экономической лампочке составляет около 1800 — 2000 градусов, то очевидно, что накаленная нить обладает примерно в 10 раз бо́льшим сопротивлением, чем холодная. Поэтому, применяя лампочки накаливания в качестве сопротивлений, необходимо при расчетах учитывать, будет ли лампочка гореть нормальным накалом, или она будет недокалена, или даже вовсе не будет калиться.

Для того, чтобы рассчитать удельное сопротивление проводника при разных температурах, нужно пользоваться формулой:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha T)$$

где T температура проводника, ρ_0 его сопротивление при 0 градусов, ρ_t его сопротивление при температуре T и α температурный коэффициент.

В качестве удельного сопротивления при 0 градусов можно брать сопротивление, указанное выше в таблицах. Температурные же коэфициенты для некоторых проводников, с которыми приходится иметь дело радиолюбителю, мы приводим ниже.

Температурные коэфициенты.

Медь	0,0043	Вольфрам	0,005
Железо	0,0065	Серебро	0,004
Цинк	0,004	Свинец	0,004
Алюминий	0,0045	Никель	0,0065
Олово	0,0045	Нейзильбер . . .	0,0004
Никелин	0,0003	Константан . . .	0
Манганин	0		

Как видно из этой таблицы, все чистые металлы обладают довольно большим и примерно одинаковым температурным коэфициентом сопротивления. Гораздо меньшими коэфициентами обладают специальные сплавы с большим удельным сопротивлением. А два из этих сплавов (манганин и константан) имеют температурный коэфициент, равный нулю, т. е. их сопротивление вовсе не зависит от температуры. Поэтому все сопротивления, величина которых не должна изменяться (эталоны), делаются обычно из манганиновой или константановой проволоки.

Пример 1. Требуется определить сопротивление медного провода длиною 50 *м*, с площадью поперечного сечения в 2 *кв. мм*.

По таблице находим удельное сопротивление $\rho = 0{,}0175$. Сопротивление провода будет равно:

$$R = \rho \frac{l}{q} = 0{,}0175 \times \frac{50}{2} = 0{,}43 \text{ ома}$$

Пример 2. Требуется подсчитать, какой длины нужно взять никелиновую проволоку толщиной 0,2 *мм* для постройки реостата в 30 *ом* сопротивления.

При диаметре проволоки в 0,2 *мм* площадь ее поперечного сечения будет равна $q = 0{,}0314$ *кв. мм*. Формула для определения сопротивления, приведенная выше, может быть преобразована следующим образом:

$$l = \frac{R \times q}{\rho}$$

так как удельное сопротивление никелина $\rho = 0{,}42$ (из таблицы), то длина проволоки получится равной:

$$l = \frac{30 \times 0{,}0314}{0{,}42} = 2{,}24 \text{ метра.}$$

Пример 3. Нужно решить предыдущую задачу, не прибегая к вычислениям, а пользуясь таблицей сопротивлений для проводов длиною в 1 метр. По таблице мы находим, что сопротивление 1 метра никелиновой проволоки диаметром 0,2 *мм* равно 13,4. ома. Следовательно, длина проволоки, имеющей сопротивление 30 ом, будет равна.

$$l = \frac{30}{13{,}4} = 2{,}24 \text{ метра.}$$

Эти же самые задачи могут быть легко решены при помощи номографической таблицы, приведенной выше.

Пример 4. Требуется определить сопротивление лампы накаливания с вольфрамовой нитью в холодном состоянии, если известно, что при накале до 1400° (немного ниже нормального накала) ее сопротивление составляет 600 ом.

Если считать, что в лампе при изменении накала изменяется только удельное сопротивление и не изменяются размеры нити, то общее сопротивление нити будет пропорционально удельному сопротивлению ее материала. Следовательно, вместо удельного сопротивления мы можем в формулу, приведенную выше, подставить полное сопротивление нити в холодном состоянии (R_0) и ее сопротивление при температуре в 1400° $R_{1400} = 600$ ом. Тогда мы получим:

$$600 \text{ ом} = R_0 (1 + 0{,}005 \times 1400) = R_0 (1 + 7) \text{ или } R_0 =$$

$$= \frac{600}{8} \text{ ом} = 75 \text{ ом.}$$

Еще о законе Ома.

Мы раньше установили что сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению цепи. Выводя этот закон, мы не говорили об еди-

ницах, в которых должны измеряться величины, входящие в формулу:

$$I = \frac{E}{R}$$

Теперь, зная, что сопротивление провода измеряется омами, мы можем указать единицы для всех трех величин, входящих в закон Ома; именно сила тока в приведенной формуле будет определяться в амперах, если напряжение берется в вольтах, а сопротивление в омах. Таким образом, если мы хотим узнать, какой ток потечет через данную проволоку, то нужно напряжение источника, взятое в вольтах, поделить на сопротивление цепи, взятое в омах; полученный результат покажет нам силу тока в амперах. Пользуясь приведенной формулой, можно всегда, зная две какие-нибудь величины, определить третью. Если мы знаем силу тока, текущего в цепи, и напряжение источника тока, то сопротивление цепи определяется следующим образом:

$$R = \frac{E}{I}$$

Если, наоборот, мы знаем сопротивление цепи и силу тока, протекающую по этой цепи, то легко определить напряжение источника тока, вызвавшее данный электрический ток:

$$E = I \times R.$$

Все эти величины можно определить, не прибегая к вычислению по номографической таблице (рис. 7). На этой таблицы имеются три столбца со значениями, I, E, и R. Соединяя линейкой два известные значения, мы в точке пересечения линейки с третьим столбцом получаем искомую величину.

При присоединении к источнику тока какого-нибудь сопротивления в последнем образуется электрический ток, величина которого зависит, кроме величины сопротивления, от напряжения источника тока. Напряжение источника тратится на образование тока. В электротехнике принято говорить, что в данном случае мы имеем п а д е н и е н а п р я ж е н и я на включенном сопротивлении.

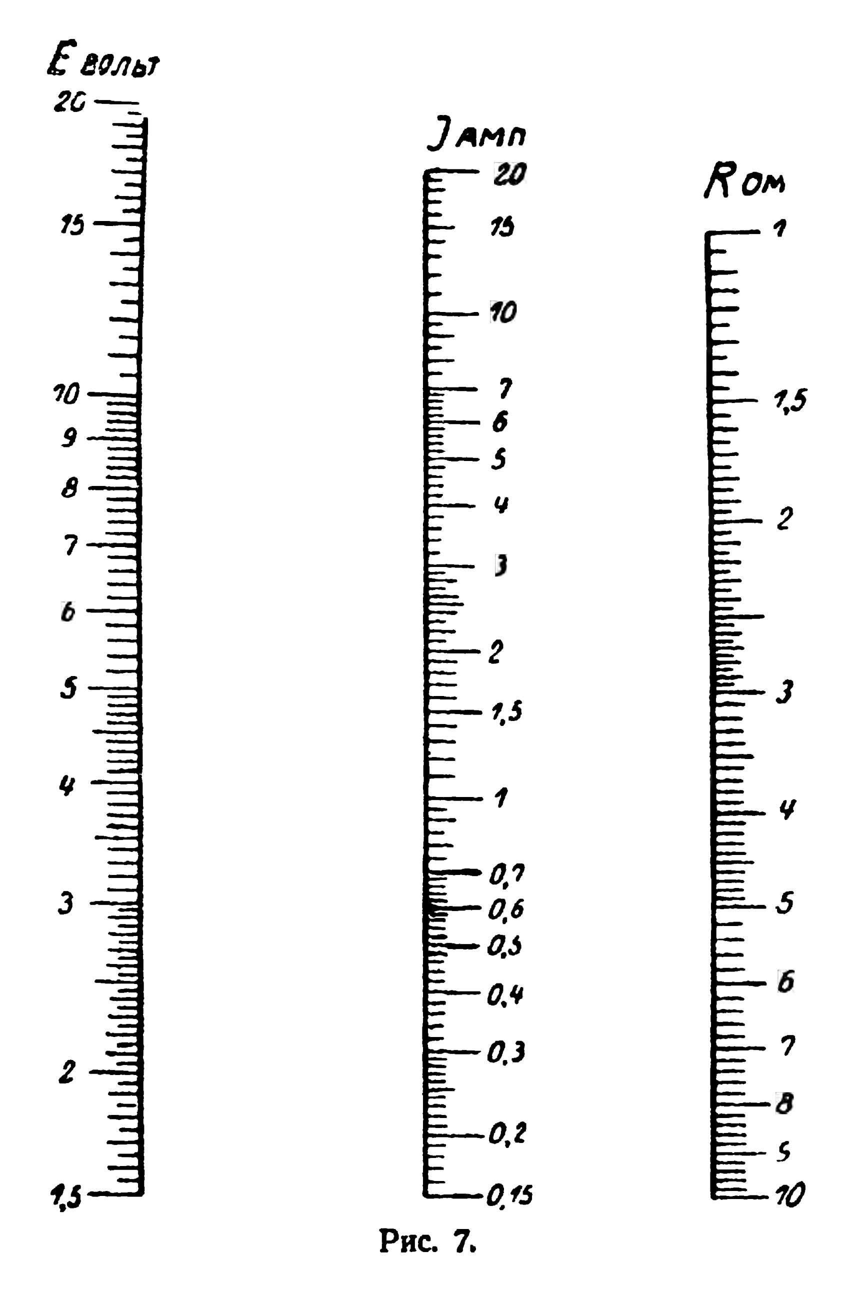


Рис. 7.

Мы можем проделать следующий опыт. Присоединим к включенному сопротивлению (рис. 8) вольтметр (V) таким образом, что один его зажим был присоединен постоянно к нижней точке сопротивления, а другой его зажим с помощью движка мог бы присоединяться к любому месту со-

противления. Если вольтметр присоединен к концам сопротивления, то он покажет полное напряжение, даваемое батареей. По мере передвигания движка *а* вниз по сопротивлению, вольтметр будет показывать все меньшее и меньшее напряжение. При соединении движка *а* с серединой сопротивления, вольтметр покажет напряжение в два раза меньшее полного напряжения батареи; при присоединении вольтметра к четверти сопротивления, его показание будет соответствовать

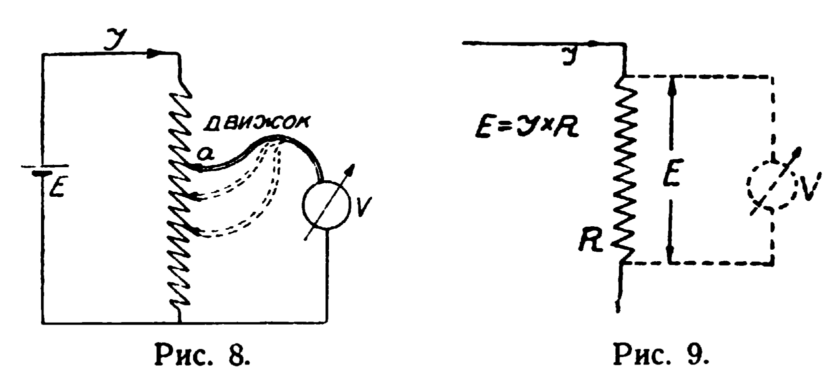


Рис. 8. Рис. 9.

четверти полного напряжения и т. д. Иначе говоря, этот опыт позволяет сказать, что напряжение падает равномерно по всему сопротивлению.

Итак, при прохождении через какое-нибудь сопротивление электрического тока, на это сопротивлении мы имеем падение напряжения, величина которого равна силе тока, умноженной на данное сопротивление, т. е.

$$E = I \times R.$$

Это правило относится к любой части цепи. Если, например, мы имеем какое-нибудь сопротивление R (рис. 9) и знаем, что через него проходит ток I, то независимо от того, какие еще включены в цепь сопротивления и какое общее напряжение источника тока, падение напряжения на сопротивлении R будет равно IR.

Падение напряжения показывает, какое напряжение затрачивается для преодоления сопротивления данной части цепи.

Пример 5. К источнику электрического тока с напряжением 4,5 вольта присоединено сопротивление в 2 ома. Определить силу тока, протекающую через сопротивление.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ ампера}$$

Пример 6. Через электронную лампу типа «Микро» (через ее нить накала) протекает ток силой 0,06 ампер,

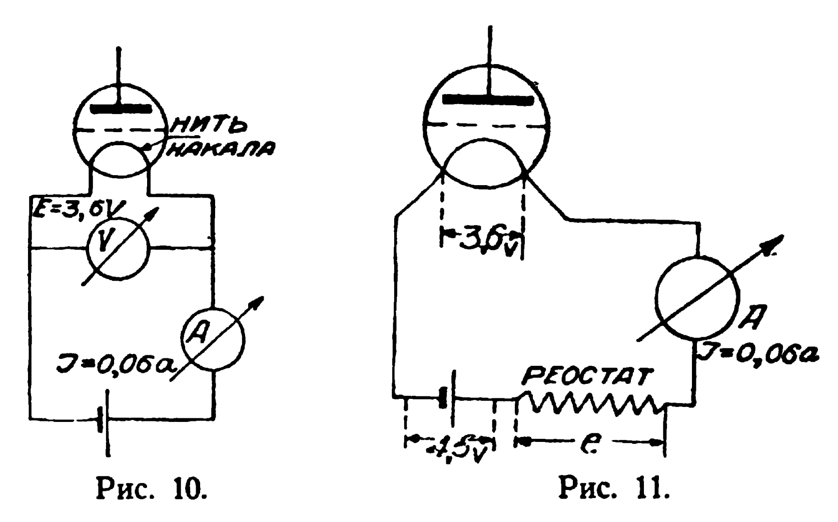


Рис. 10. Рис. 11.

при чем, в концам нити накала (рис. 10) приложено напряжение 3,6 вольта. Каково сопротивление нити накала лампы?

$$R = \frac{E}{I} = \frac{3,6}{0,06} = 60 \text{ ом.}$$

Примечание. Как мы уже указали, сопротивление провода зависит от его температуры. Полученная цифра 60 ом относится, конечно, к раскаленной нити — при нормальном накале.

Пример 7. Сопротивление нити накала лампы типа УОЗ в накаленном состоянии равно 12,7 ома. Для нормальной работы лампы необходимо, чтобы через ее нить проходил ток силою 0,282 ампера. Какое напряжение необходимо приложить к концам нити?

$$E = I \times R = 0,282 \times 12,7 = 3,6 \text{ вольта.}$$

Пример 8. В примере 6 были указаны нормальные условия для работы лампы «Микро». Из них видно, что к концам нити накала нужно подводить напряжение в 3,6 вольта. Батареи, которые применяются для накала, имеют обычно напряжение 4,5 вольта. Для того, чтобы подвести к нити только 3,6 вольта, последовательно с нитью включают добавочное сопротивление, так наз. реостат (рис. 11), на котором и падает часть полного напряжения батареи. Требуется определить, каким должно быть сопротивление реостата, чтобы к концам нити подводилось только 3,6 вольта.

Напряжение, каторое должно теряться на реостате, будет равно

$$e = 4{,}5 - 3{,}6 = 0{,}9 \text{ вольта.}$$

Так как ток, проходящий через реостат, тот же, что и через нить накала, то, обозначая сопротивление реостата через r, мы имеем: $e = I \times r$, где I ток накала нити, то есть 0,06 ампера. Откуда сопротивление реостата определится равным

$$r = \frac{e}{I} = \frac{0{,}9}{0{,}06} = 15 \text{ омов.}$$

Пример 9. Равномерное падение напряжения вдоль сопротивления находит большое применение в электротехнике и радиотехнике в устройстве так наз. потенциометров. Потенциометр является прибором, позволяющим от данного источника тока с постоянным напряжением получать любые доли этого напряжения. Например, мы имеем источник тока напряжением в 120 вольт, а хотим от него взять напряжение в 50, 70, 100 и т. д. вольт.

Рис 12.

Потенциометр представляет собой сопротивление, включаемое параллельно полюсам источника тока (рис. 12).

В зависимости от того, к какой точке сопротивления будет присоединен провод, получится то или иное напряжение на зажимах, к которым присоединяется цепь. На рисунке даны числовые примеры разных напряжений.

Электродбижущая сила.

Раньше, говоря об напряжении источника тока, мы определили, что напряжение является той причиной, которая вызывает образование тока, т.-е. передвижение электронов в той цепи, которая присоединена к полюсам источника тока. Говоря о гальванических элементах, мы указали, что напряжение, даваемое элементом, зависит от свойств элемента. Сейчас мы остановимся на этой зависимости более подробно.



Рис. 13.

Рассматривая протекание электрического тока в какой-нибудь цепи (рис. 13), мы видим, что, кроме передвижения электронов по цепи, приключенной к полюсам элемента, мы имеем также движение электронов через жидкость элемента. Иначе говоря, через элемент у нас проходит электрический ток той же силы, какую мы имеем в цепи, присоединенной к полюсам. Для протекания электрического тока сам элемент представляет некоторое сопротивление. Это сопротивление носит название внутреннего сопротивления в отличие от сопротивления, присоединенного к полюсам элемента, которое называется **внешним** сопротивлением.

На образование тока, идущего через элемент, на преодоление внутреннего сопротивления должно затрачиваться какое-то напряжение, величину которого не трудно определить на основании расчета, изложенного в предыдущем параграфе. Следовательно, гальванический элемент, кроме напряжения на зажимах, создающего ток во внешнем сопротивлении, должен давать еще какое-то напряжение, идущее на преодоление внутреннего сопротивления. Оба эти напряжения

и характеризуют полную силу элемента. Вот эта полная сила элемента, равная сумме напряжений, образующих ток во внешнем и внутреннем сопротивлении, носит название электродвижущей силы элемента. В дальнейшем изложении мы сокращенно будем обозначать электродвижущую силу тремя буквами *э д с*.

Электродвижущая сила данного элемента есть величина постоянная, зависящая только от материалов электродов и жидкости, наполняющей элемент. Вообще э д с любого источника электрического тока зависит от свойств этого источника и не зависит от свойств внешней цепи.

Обобщение закона Ома.

Теперь мы можем вывести общий закон для определения силы тока в данной цепи. Рассуждая так же, как в случае тока во внешнем сопротивлении, мы можем сказать, что сила тока в замкнутой цепи, сопротивление которой состоит из внешнего и внутреннего сопротивления, прямо-пропорциональна электродвижущей силе и обратно-пропорциональна полному сопротивлению цепи. Под полным сопротивлением мы здесь понимаем сумму внешнего и внутреннего сопротивлений.

Мы можем иначе написать указанное правило:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила}}{\text{внешнее сопротивление} + \text{внутреннее сопротивление}}.$$

Математически это же самое выражается следующим образом:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Здесь приняты следующие обозначения: E — электродвижующая сила, R — внешнее сопротивление (сопротивление, присоединенное к полюсам элемента) и r — внутреннее сопротивление элемента.

Электродвижущая сила выражается в вольтах, сопротивление в омах, сила тока получается в амперах.

Теперь читателю должно быть понятно, что напряжение на полюсах элемента не остается постоянным для данного элемента, а зависит от силы тока, протекающего по цепи, т. е. от свойств внешней цепи. Действительно, падение напряжения на внутреннем сопротивлении равно сопротивлению умноженному на силу тока, т. е. чем больше сила тока, тем больше падение напряжения на внутреннем сопротивлении. А так как напряжение на полюсах есть не что иное, как электродвижущая сила, из которой вычтено падение напряжения на внутреннем сопротивлении, то совершенно очевидно, что с увеличением силы тока напряжение на полюсах будет уменьшаться, так как при этом, как уже было сказано, увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении.

Математически это можно выразить следующим образом:

$$E = E_1 - I \times r$$

Здесь:

E — напряжение на полюсах элемента,

E_1 — электродвижущая сила элемента,

$I \times r$ — падение напряжения на внутреннем сопротивлении.

Итак, мы можем сказать, что чем больше ток мы берем от элемента, тем меньше будет напряжения на полюсах последнего, при чем для данной силы тока это уменьшение будет, тем более значительно, чем больше внутреннее сопротивление самого элемента.

Пример 10. Электродвижущая сила источника тока $E_1 = 100$ вольт. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 2$ ома. По цепи, на которую нагружен источник тока. проходит ток силою в 1,5 ампера.

Чему равно напряжение на полюсах источника тока?

Падение напряжения внутри источника будет равно:

$$e = I \times r = 1{,}5 \times 2 = 3 \text{ вольта.}$$

Следовательно, напряжение на полюсах будет равно:

$$E = E_1 - e = 100 - 3 = 97 \text{ вольт.}$$

Теперь легко определить еще величину нагрузочного сопротивления, присоединенного к полюсам. Зная, что $I = 1{,}5$a и $E = 97$ вольт, мы получаем, что нагрузочное сопротивление:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{97}{1{,}5} = 64{,}6 \text{ ома.}$$

Роль внутреннего сопротивления. Короткое замыкание.

Закон Ома в том случае, когда мы принимаем во внимание внутреннее сопротивление цепи, как уже было указано, может быть написан в такой форме: $I = \frac{E}{R + r}$

где E — э д с источника, I — сила тока в цепи, R — внешнее сопротивление, и r — внутреннее сопротивление источника. Иначе этот же самый закон можно написать и в таком виде: $E = IR + Ir$. Так как IR есть падение напряжения во внешней цепи, а Ir есть падение напряжения внутри самого источника, то можно полученное нами выражение сформулировать так: сумма падений напряжения во внешней и внутренней части цепи равна э д с источника. Очевидно, что чем меньше будет внешнее сопротивление по сравнению с внутренним, тем меньше будет напряжение на зижамах источника ($E - Ir$). Если внешнее сопротивление равно внутреннему, то напряжение на зажимах источника будет равно как раз половине его э д с. Половина э д с будет тратиться на преодоление внутреннего сопротивления. При дальнейшем уменьшении внешнего сопротивления напряжение на зажимах источника будет уменьшаться, и если внешнее сопротивление станет равным нулю, то мы получим $E = Ir$. Другими словами, вся э д с источника будет тратиться на преодоление его внутреннего сопротивления. Этот случай называется в электротехнике **коротким замыканием** источника.

Очевидно, что при коротком замыкании сила тока, протекающая в источнике, зависит только от его э д с и внутреннего сопротивления. Если это последнее мало, то

сила тока при коротком замыкании может оказаться настолько большой, что она повредит источник. Поэтому-то короткое замыкание так опасно для источников тока — аккумуляторов, электрических машин и т. д. Если же внутреннее сопротивление источника велико, то даже при коротком замыкании сила тока в источнике не может быть очень большой. Поэтому для большинства гальванических элементов, обладающих большим внутренним сопротивлением короткое замыкание не представляет такой опасности как для аккумуляторов. Оно вредно лишь потому, что элемент быстро расходуется. Но никаких серьезных разрушений в гальваническом элементе с большим внутренним сопротивлением ток короткого замыкания произвести не может.

Пример 11. Определить силу тока при коротком замыкании аккумулятора, если его э д с равна 2 вольтам, а внутреннее сопротивление 0,02 ома.

$$I_k = \frac{2}{0{,}02} = 100 \text{ ампер.}$$

Пример 12. Определить силу тока при коротком замыкании гальванического элемента, если его э д с равна 1,5 вольта, а внутреннее сопротивление 3 ома:

$$I_k = \frac{1{,}5}{3} = 0{,}5 \text{ ампера}$$

Соединение сопротивлений.

Отдельные сопротивления могут соединяться друг с другом двумя разными способами. Различаются: последовательное соединение, когда одно сопротивление следует за другим (рис. 14) и параллельное соединение, когда концы сопротивлений соединяются вместе (рис. 15). Для нас важно уметь определять, чему будет равняться общее сопротивление нескольких соединенных тем или иным способом сопротивлений.

При последовательном соединении сопротивлений общее сопротивление равно сумме отдельных соединенных сопротивлений. Если обозначить через r_1, r_2 и r_3 соединяемые со-

противления, а через R общее их сопротивление, то можно написать, что

$$R = r_1 + r_2 + r_3.$$

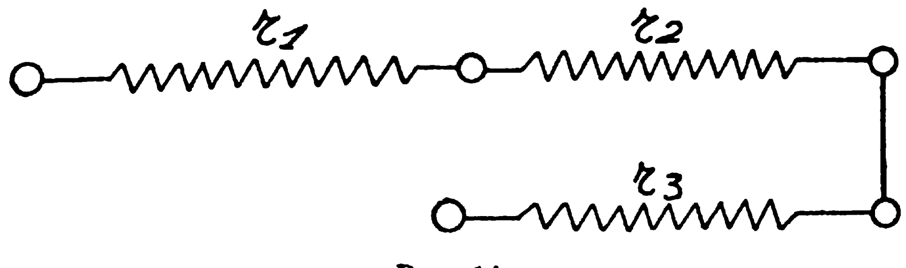


Рис. 14.

При параллельном соединении сопротивлений общее сопротивление всегда мень-

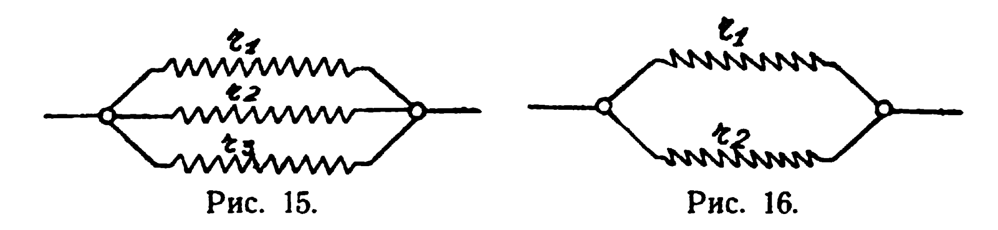


Рис. 15. Рис. 16.

ше наименьшего из сопротивлений. Если, например, $r_1 = 2$ ома, $r_2 = 6$ омов, и $r_3 = 10$ омов (рис. 17), то общее сопротивление будет меньше двух омов. Точный подсчет общего сопротивления в данном случае значительно труднее, чем для последовательного соединения сопротивлений. В случае двух параллельно включенных сопротивлений (рис 16) общее сопротивление может быть подсчитано по формуле:

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}$$

т. е. для определения общего сопротивления нужно соединенные сопротивления перемножить и полученный результат разделить на сумму этих сопротивлений.

Легко видеть, что если $r_1 = r_2$, то при параллельном включении $R = \frac{r}{2}$. Вообще при параллельном включении n

одинаковых сопротивлений величиной r, общее сопротивление $R = \frac{r}{n}$.

Кроме последовательного и параллельного соединения часто встречается смешанное соединение проводников. Пример смешанного соединения показан на рис. 17. Как

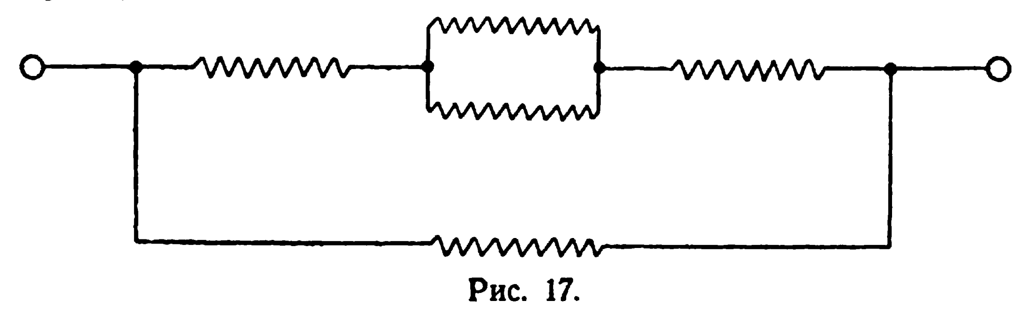


Рис. 17.

производить подсчет общего сопротивления при смешанном соединении читатель лучше всего усвоит из рассмотрении приведенного ниже примера.

Разветвление токов.

Пусть мы имеем два параллельно соединенных сопротивления r_1 и r_2 (рис. 18), присоединенные к полюсам элемента *E*, и нас интересует — какой силы будут электрические токи в этих сопротивлениях. К концам обоих сопротивлений приложено одинаковое напряжение и, следовательно, сила тока в каждом сопротивлении определится обычным путем по закону Ома: $i_1 = \frac{E}{r_1}$; $i_2 = \frac{E}{r_2}$, т. е. через большее сопротивление пойдет меньший ток и, наоборот, через меньшее сопротивление ток будет больше. Иначе говоря, силы токов в параллельно соединенных сопротивлениях обратно пропорциональны последним Математически это может быть выражено следующим образом:

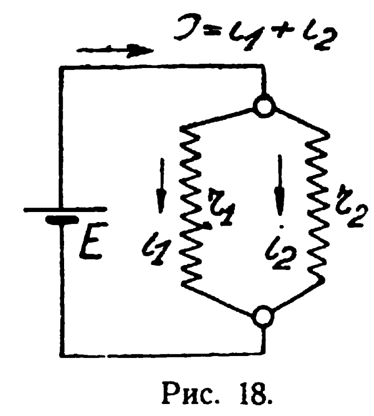


Рис. 18.

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

В неразветвленной части цепи сила тока будет равна сумме токов, текущих через сопротивления:

$$I = i_1 + i_2$$

Пример 13. Определить сопротивление трех последовательно соединенных нитей накала ламп типа «Микро». Сопротивление нити одной лампы равно $r = 60$ омов. Следовательно, полное сопротивление равно

$$R = r \times 3 = 3 \times 60 = 180 \text{ омов.}$$

Пример 14. Опеределить сопротивление трех параллельно соединенных нитей накала ламп типа «Микро».

$$R = \frac{r}{3} = \frac{60}{3} = 20 \text{ омов.}$$

Пример 15. Параллельно нити накала лампы «Микро» присоединен потенциометр r_1 (рис. 19) сопротивлением

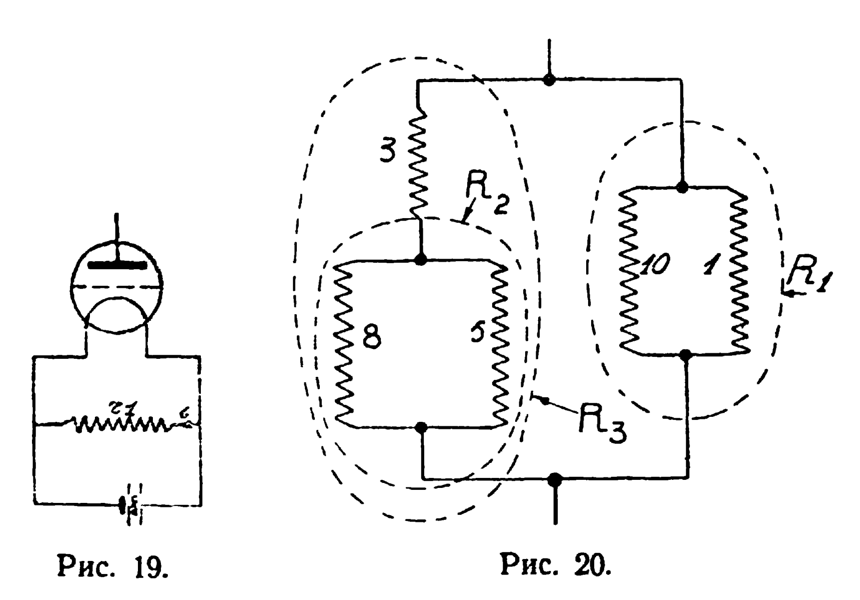


Рис. 19.

Рис. 20.

в 200 ом. Определить общее сопротивление нити и потенциометра.

$$R = \frac{r \times r_1}{r + r_1} = \frac{60 \times 200}{60 + 200} = 46{,}1 \text{ ома.}$$

Пример 16. Определить силу тока, протекающего через потенциометр (i_1), зная, что сила тока накала нити равна $i = 0{,}06$ ампер. Из отношения

$$\frac{i_1}{i} = \frac{r}{r_1}$$

получаем силу тока, протекающего через потенциометр

$$i_1 = i \times \frac{r}{r_1} = 0{,}06 \times \frac{60}{200} = 0{,}018 \text{ ампер.}$$

Пример 17. Определить общее сопротивление пяти сопротивлений, включенных, согласно рис. 20 и имеющих указанные на рисунке величины сопротивлений.

$$R_1 = \frac{1 \times 10}{1 + 10} = 0{,}909 \text{ ома.}$$

$$R_2 = \frac{5 \times 8}{5 + 8} = 3{,}07 \text{ ома.}$$

$$R_3 = R_2 + 3 = 3{,}07 + 3 = 6{,}07 \text{ ом.}$$

Общее сопротивление представляет собою параллельное соединение сопротивлений R_1 и R_3, т. е.

$$R = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_3} = \frac{0{,}909 \times 6{,}07}{0{,}909 + 6{,}07} = 0{,}79 \text{ ома.}$$

Соединение элементов.

Применяющиеся в электротехнике гальванические элементы и аккумуляторы имеют очень небольшую электродвижущую силу; в большинстве случаев последняя не превышает 1½—2 вольт. С другой стороны, вследствие большого внутреннего сопротивления, и сила тока, которую может дать один элемент, невелика и, следовательно, получить от такого элемента бо́льшие токи не представляется возможным. Обе эти причины привели к необходимости соединять дру-

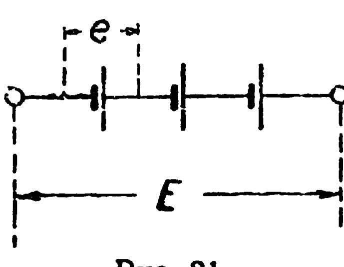


Рис. 21.

с другом несколько элементов. Такое соединение из нескольких элементов носит название батареи элементов или просто батареи. Соединение элементов

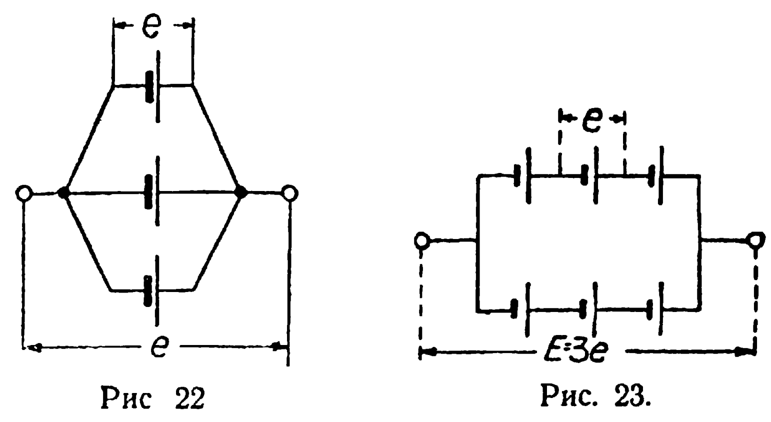


Рис 22

Рис. 23.

так же, как и в случае сопротивления, может быть последовательное (рис. 21), параллельное (рис. 22) и смешанное (рис. 23).

При последовательном соединении общая *эдс* батареи равна сумме *эдс* соединяемых элементов. Если, например, для случая, приведенного на рис. 21, *эдс* одного элемента равна *e*, то общая *эдс* всей батареи будет равна:

$$E = e + e + e = 3e$$

Каждый элемент обладает определенным запасом электричества и существует некоторая наибольшая сила тока, которую можно брать от элемента. Если увеличить ток сверх нормы, то напряжение элемента из-за большого внутреннего сопротивления резко уменьшается и, кроме того, элемент портится.

При последовательном соединении через каждый элемент протекает тот же ток, что и через всю цепь и наибольший ток, который можно брать от батареи, равен, следовательно, наибольшему току одного из включенных элементов. Таким образом, при последовательном соединении мы получаем увеличение электродвижущей силы (а также и напря-

жения), оставляя наибольший допустимый ток без изменения.

При параллельном соединении общая эдс батареи равна эдс одного из включенных элементов.

Сила же тока, которую можно брать от такой батареи, увеличивается во столько раз, сколько соединено элементов, так как ток, даваемый элементом, будет меньше общего тока в цепи. Если, например, максимальная сила тока, которую можно брать от одного элемента при данном допустимом падении напряжения внутри элемента равна 1 амперу, то при соединении трех таких элементов параллельно, мы можем от полученной батареи брать ток силою до 3 ампер. Так три соединенных параллельно элемента действуют как один элемент с той же эдс, но в три раза меньшим внутренним сопротивлением. Итак, при параллельном соединении элементов мы получаем выигрыш в силе тока, а напряжение батареи остается равным напряжению одного элемента.

Нетрудно понять, что при смешанном соединении получается, как увеличение напряжения, так и увеличение допускаемой силы тока. Напряжение возрастает во столько раз, сколько элементов соединено последовательно; увеличение же силы тока зависит от числа параллельно соединенных групп. Для примера, показанного на рис. 23, мы получим увеличение напряжения в 3 раза и увеличение максимальной силы тока в два раза, по сравнению с таковыми же одного элемента.

Обычно соединяются в батареи одинаковые элементы. Соединять элементы разные обычно невыгодно, а при параллельном включении совершенно нецелесообразно.

Пример 18. Определить напряжение 40 последовательно соединенных аккумуляторов, если каждый аккумулятор имеет напряжение в 2 вольта.

$$E = 40e = 40 \times 2 = 80 \text{ вольт.}$$

Пример 19. Элемент допускает максимальный ток разряда силою в 0,5 ампера. Сколько элементов нужно со-

единить параллельно, чтобы получить батарею, могущую давать ток силою в 8 ампер?

$$\frac{8}{0,5} = 16 \text{ элементов}$$

Пример 20. Требуется построить батарею аккумуляторов напряжением в 120 вольт с максимальным разрядным током в 5 ампер. Имеются отдельные аккумуляторы, дающие максимальный ток в 1 ампер и имеющие напряжение в 2 вольта. Сколько нужно взять аккумуляторов и как их соединить, чтобы получить требуемую батарею?

Число последовательно соединенных аккумуляторов равно

$$\frac{120}{2} = 60 \text{ шт.}$$

Число параллельно соединенных групп равно

$$\frac{5}{1} = 5 \text{ групп}$$

Всего нужно 60×5=300 аккумуляторов. Схема их включения дана на рис. 24.

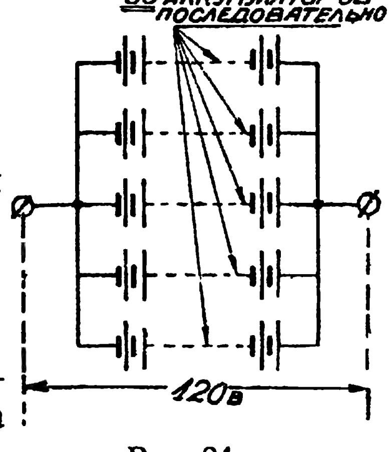


Рис. 24.

Тепловое действие тока.

Электрический ток, проходя по проводу, нагревает последний. Это нагревание объясняется тем, что электроны при своем движении по проводу сталкиваются с встречающимися на пути частицами вещества и в результате этих столкновений, в результате таких ударов получается выделение теплоты.

Провод может быть нагрет проходящим током до разной величины. В одном случае мы наблюдаем только еле заметное нагревание, в другом случае провод может быть ракален докрасна или даже добела. Нагревание проводов проходящим электрическим током широко используется:

так, например, на нагревании проводов основано устройство всех нагревательных приборов — плит, печей, чайников, и т. д. и устройство лампочек электрического освещения.

Степень нагрева провода зависит от двух причин — от силы электрического тока и от сопротивления того провода, по которому ток проходит. Математически количество выделяемой теплоты определяется следующей формулой:

$$Q = 0,24 \times I^2 \times R$$

Из этой формулы видно, что количество теплоты зависит от квадрата силы тока, т.-е. если, например, мы увеличим силу тока в два раза—количество теплоты увеличится в четыре раза; при увеличении тока в три раза количество теплоты увеличится в девять раз и т. д.

Мощность электрического тока.

Электрический ток, производя нагревание, вращает электромотор и т. п. производит какую-то работу. В механике количество совершаемой работы выражается обычно «лошадиными силами в часах». Количество работы в единицу времени называется мощностью. Мощность определяется обычно в лошадиных силах.

В электротехнике мощность определяется в особых единицах — в ваттах. Между ваттами и лошадиными силами существует следующее соотношение:

1 л. с.=736 ватт.

Так как 1 ватт является очень небольшой мощностью, то для выражения больших мощностей введены в электротехнике другие единицы — гектоватт и киловатт, причем

1 гектоватт=100 ватт.

1 киловатт=1000 ватт.

Работа, совершаемая электрическим током оценивается гектоватт-часами и киловатт-часами. Мы говорим, например, что электрический ток совершил работу в 1 киловатт-час, если в течение одного часа ток в проводнике выделял мощность в один киловатт.

Мощность электрического тока может быть определена по силе тока и напряжению. Если, например, на зажимах какого-нибудь сопротивления имеется напряжение E и через сопротивление проходит ток силой I, то мощность, расходуемая в сопротивлении, будет равна: $W = E \times I$. Мощность W будет выражена в ваттах, если сила тока выражается в амперах, а напряжение в вольтах.

Полезно запомнить еще другую формулу для определения электрической мощности:

$$W = I^2 \times R.$$

В этой формуле W — мощность в ваттах, I — сила тока в амперах, а R—сопротивление в омах. Получается эта формула из первой очень легко. Если напряжение на зажимах цепи E и сопротивление цепи R, то сила тока в цепи есть $I = \frac{E}{R}$, или наоборот напряжение на зажимах цепи есть $E = I \times R$. Подставляя это выражение для E в формулу мощности $W = E \times I$ получим:

$$W = I \times R \times I = I^2 R.$$

Пример 21. Определить мощность электрического тока, затрачиваемую на накал лампы типа «Микро».

Ток накала микролампы равен 0,06а, напряжение 3,6 вольта, следовательно мощность

$$W = 3{,}6 \times 0{,}06 = 0{,}216 \text{ ватта.}$$

Пример 22. Определить мощность, затрачиваемую на накал усилительной лампы типа УО—3.

Тока накала лампы УО — 3 = 0,282 амп., напряжение 3,6 вольта, следовательно, мощность
$W = I \times E = 3{,}6 \times 0{,}282 = 1{,}015$ ватт.

Как видно из приведенного расчета, на накал лампы УО—3 идет приблизительно в 5 раз больше мощности, чем на накал лампы микро.

Пример 23. Сколько следует заплатить в год за энергию переменного тока, идущего на накал 4-лампового

приемника (лампы типа «Микро»), если стоимость киловатт-часа=16 коп., а число часов работы приемника в сутки—8.

Мощность, идущая на накал 4-х ламп типа «Микро» равна (см. пример 21):

$$0{,}216\times4=0{,}864 \text{ ватта.}$$

Работа тока за сутки будет равна

$$0{,}864\times8=6{,}912 \text{ ватт-часов.}$$

Работа тока за год будет равна

$$6{,}912\times365=2520 \text{ ватт-часов}=2{,}52 \text{ киловатт-часов.}$$

Учитывая потери в реостатах и в понижающем трансформаторе, считаем, что работа тока за год будет равна 5 киловатт-часам. Следовательно, при стоимости одного киловатт-часа в 16 коп., расход выразится в 16 к.$\times$5==80 коп.

Мощность источника тока.

Для определения условий работы источника тока важно знать не только силу тока, которую он может давать, но и мощность, которую он может отдавать во внешнюю цепь. Казалось бы, что чем больше будет сила тока во внешней цепи, тем больше будет и мощность отдаваемая источником во внешнюю цепь. Следовательно, для того, чтобы получить наибольшую мощность от источника с данной эдс, нужно было бы, казалось, уменьшать сопротивление внешней цепи. Например, при уменьшении сопротивления вдвое, сила тока увеличилась бы вдвое, т.-е. I^2 увеличилось бы вчетверо и I^2R несмотря на уменьшение R все же увеличилось бы вдвое. Однако, наше рассуждение неверно, так как мы забыли о роли внутреннего сопротивления источника. При уменьшении сопротивления вдвое, вследствие наличия внутреннего сопротивления увеличится в четыре раза мощность

расходуемая во внутреннем сопротивлении. Поэтому в вопросе о мощности, которую может отдать источник во внешнюю цепь, очень существенную роль играет внутреннее сопротивление источника. Посмотрим, в чем эта роль заключается. Мы уже знаем, что при прохождении тока через всякое сопротивление, в этом сопротивлении расходуется определенная мощность I^2R. Так как всякий источник тока обладает внутренним сопротивлением, то при прохождении тока в самом источнике затрачивается некоторая часть мощности.

Чем больше будет ток, отдаваемый источником, тем больше будет мощность, затрачиваемая внутри самого источника. Вместе с тем при увеличении силы тока (т.-е. уменьшении внешнего сопротивления) возрастет и мощность, отдаваемая источником во внешнюю цепь, однако только до некоторого предела—именно до того момента, когда внешнее сопротивление мы не уменьшим настолько, что оно станет равно внутреннему. После этой границы, при дальнейшем уменьшении сопротивления, хотя сила тока в цепи будет возрастать, но мощность, отдаваемая во внешнюю цепь, уже будет уменьшаться. Мощность же, затрачиваемая внутри самого источника, будет все время продолжать увеличиваться. Если мы уменьшим внешнее сопротивление до нуля, то ясно, что и мощность во внешней цепи упадет до нуля (так как хотя I^2 и велико, но $R = O$). Поэтому при коротком замыкании вся мощность, которую может развивать источник, будет затрачиваться внутри самого источника.

Итак, наибольшую мощность источник будет отдавать во внешнюю цепь тогда, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника. Это условие называется условием наибольшей отдачи и играет очень важную роль во всех областях электротехники. Чтобы читатель лучше разобрался в этом вопросе, мы приведем несколько примеров.

Пример 24. Определить мощность, отдаваемую во внешнюю цепь и затрачиваемую внутри самого источника.

если эдс источника $E=4$ вольта, его внутреннее сопротивление $r=5$ ом и сопротивление внешней цепи $R=35$ ом.

Сила тока в цепи при этих условиях будет $I=\frac{E}{R+r}$

т. - е. $I=\frac{4}{35+5}=0,1$ ампера.

Мощность во внешней цепи $W_ц=I^2R$ будет $W_ц = 0,1^2\times35=0,35$ ватта

Мощность внутри источника $W_и=I^2r$, т. е. $W_и=0,1^2\times\times5=0,05$ ватта.

Полная мощность, развиваемая источником как во внешней, так и во внутренней части цепи $W=W_ц+W_и=0,35$ ватта$+0,05$ ватта$=0,4$ ватта.

Пример 25. Определить мощность, развиваемую тем же источником при внешнем сопротивлении $R=5$ омам ($R=r$—условие наибольшей отдачи!).

Сила тока $I=\frac{4}{5+5}=0,4$ ампера.

Мощность во внешней цепи $W_ц=0,4^2\times5=0,16\times\times5=0,8$ ватта.

Мощность внутри источника $W_и=0,4^2\times5=0,8$ ватта.

Полная мощность $W=0,8$ ватта $+\ 0,8$ ватта $=1,6$ ватта.

Пример 26. Определить мощность, развиваемую тем же источником при внешнем сопротивлении $R=1$ ому.

Сила тока $I=\frac{4}{1+5}=\frac{4}{6}=\frac{2}{3}$ ампера.

Мощность во внешней цепи $W_ц=\left(\frac{2}{3}\right)^2 x\ 1=\frac{4}{9}\ x\ 1=$ $=4/9$ ватта или приблизительно $W_ц=0,45$ ватта.

Мощность внутри источника $W_и=\left(\frac{2}{3}\right)^2 x\ 5=\frac{4}{9}\ x\ 5=$ $=\frac{20}{9}$ ватта или приблизительно$W_и=2,25$ ватта.

Полная мощность W = 0,45 ватта + 2,25 ватта = 2,7 ватта.

Коэфициент полезного действия источника.

Итак, для того, чтобы получить от источника тока наибольшую мощность, нужно сделать внешнее сопротивление равным внутреннему. Но не всегда задача заключается в том, чтобы получить от источника наибольшую возможную мощность. В большинстве случаев электротехники следует стремиться не к этому, а к тому, чтобы возможно лучше использовать ту мощность, которую развивает источник. Для того, чтобы характеризовать, как используется мощность, развиваемая источником, применяется специальная величина, так называемый коэфициент полезного действия (к. п. д.). Ясно, что мощность, расходуемая внутри источника, тратится для нас бесполезно, и поэтому коэфициентом полезного действия следует считать отношение мощности, выделяемой во внешней цепи, ко всей мощности, развиваемой источником, т.-е. коэфициент полезного действия $K = \frac{W_ц}{W}$. Следовательно, чем больше к. п. д., тем лучше используется мощность, развиваемая источником. Ясно, что к. п. д. есть величина меньшая единицы и поэтому ее для удобства выражают в процентах, т.-е. в сотых долях единицы.

В качестве примера определим коэфициент полезного действия источника для тех трех случаев, которые рассмотрены в наших примерах 24, 25 и 26.

Пример 27. Для случая, приведенного в примере 24 $W_ц = 0,4$ ватта, $W_ц = 0,35$ ватта и, следовательно $K = \frac{W_ц}{W} = \frac{35}{40}$ или в процентах $K = 87,5\%$.

Для случая, приведенного в примере 25, $W = 1,6$ ватта, $W_ц = 0,8$ ватта и $K = \frac{W_ц}{W} = \frac{8}{16} = 0,5$ или в процентах $K = 50\%$.

И, наконец, для случая в примере 26: $W = 2,7$ ватта $W_ц = 0,45$ ватта и $K = \frac{W_ц}{W} = \frac{45}{270} = \frac{1}{6}$ или в процентах приблизительно $K = 17\%$.

Наивыгоднейшие условия работы источника.

Из приведенных только что примеров мы видим, что к. п. д. полезного действия изменяется в зависимости от величины внешнего сопротивления совершенно по другому закону, чем отдаваемая во внешнюю цепь мощность. Оказывается, что чем больше внешнее сопротивление, т.-е. чем меньше ток, тем больше к. п. д. При увеличении силы тока к. п. д. уменьшается. При наибольшей отдаче мощности ($R=r$) к. п. д. равен 50%; как раз при этих условиях половина всей развиваемой источником мощности затрачивается внутри самого источника. При дальнейшем уменьшении внешнего сопротивления к. п. д. продолжает уменьшаться.

Вследствие того, что отдаваемая мощность и к. п. д. по разному зависят от величины внешнего сопротивления, вопрос о наивыгоднейших условиях работы источника нужно решать, только условившись наперед в каком отношении мы хотим получить наибольшую «выгоду» от источника.

Если нас интересует получение наибольшей мощности от источника, то, как мы уже знаем, нужно выбирать внешнее сопротивление равным внутреннему. Но в большинстве случаев (например, в случае питания установки от батарей) нас интересует не наибольшая мощность, а наилучшее использование мощности, отдаваемой источником, т.-е. наибольший к. п. д. В этом случае нужно стремиться к тому, чтобы внешнее сопротивление было бы возможно велико по сравнению с внутренним. Это последнее условие выгодно еще и в отношении напряжения, получающегося на зажимах источника. Как мы знаем, чем больше будет внешнее сопротивление по сравнению с внутренним, тем меньше

будет падение напряжения внутри источника и тем больше будет напряжение на его зажимах. Следовательно, если нас даже не интересует большой к. п. д., а интересует лишь большое напряжение на зажимах источника, то и тогда следует стремиться к тому, чтобы внешнее сопротивление было достаточно велико по сравнению с внутренним.

ГЛАВА II. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.

Магнитное силовое поле.

Пространство, в котором действуют какие-нибудь силы, принято называть **силовым полем**. Таким образом, вокруг магнита мы имеем **силовое магнитное поле**, так же как вокруг тела, заряженного электричеством, мы имеем электрическое поле. Если мы говорим, что вокруг магнита имеется силовое магнитное поле, или просто магнитное поле, то это означает, что в пространстве вокруг магнита мы обнаруживаем действие магнитных сил.

Всякое магнитное поле представляют состоящим из большого числа магнитных силовых линий, выходящих из одного полюса магнита и входящих в другой его полюс, причем принято считать, что **силовые линии имеют направление от северного полюса магнита к его южному полюсу**. Магнитные силовые линии, имеющие одинаковое направление, отталкиваются друг от друга. Линии же, направленные в разные стороны, притягиваются друг к другу.

Силу магнитного поля, или, как принято говорить, **напряжение** магнитного поля, характеризуют **густотой или числом силовых линий** в данной точке магнитного поля. Напряжене магнитного поля характеризуют числом силовых линий, проходящих через площадку в 1 квадратный сантиметр, помещенную перпендикулярно к силовым линиям в данной точке магнитного поля. Чем больше силовых линий проходит через эту площадку, тем больше напряжение магнитного поля в данной точке, тем сильнее действие магнитного поля.

Расположение магнитных силовых линий наглядно можно изобразить при помощи железных опилок. Если положить на магнит тонкий лист картона и посыпать на него мелкие железные опилки, то, слегка встряхивая картон, мы заставим опилки расположиться по направлениям действия сил данного магнитного поля. На рис. 25 показано, как располагаются вокруг стержневого магнита железные опилки. Густота расположения опилок характеризует силу поля; около полюсов, где магнитное поле имеет наибольшее напряжение, опилки расположились особенно густо, по мере удаления от полюсов опилки располагаются более редко, что характеризует уменьшение напряжения магнитного поля в этих местах.

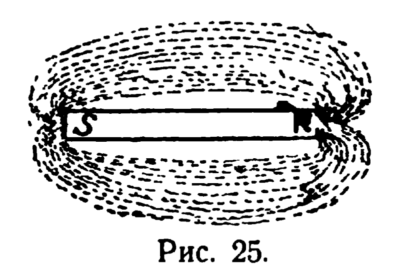


Рис. 25.

Магнитная индукция.

Железный или стальной предмет, поднесенный к постоянному магниту, сам принимает магнитные свойства. Например, если к постоянному магниту (рис. 26) приставить кусок железа A, то последний притянется к магниту, и на его конце, обращенном к северному полюсу магнита, образуется южный полюс, а на противоположном конце северный полюс. Магнитные силовые линии расположатся так, как показано на рис. 26.

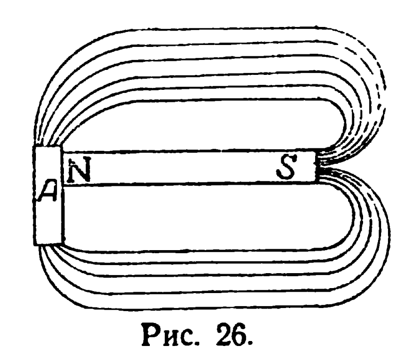
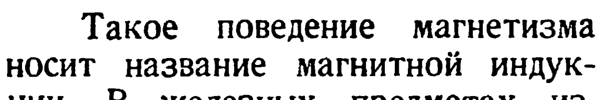


Рис. 26.


Такое поведение магнетизма носит название магнитной индукции. В железных предметах из мягкого железа наведенный магнетизм носит временный характер, т. е. железо сохраняет магнетизм только тогда, когда железо находится около постоянного магнита. Когда постоянный магнит будет убран, железо теряет свои магнитные свойства. В стальных предметах из хорошей закаленной стали магнетизм со-

храняется довольно продолжительное время, поэтому сталь и применяется для изготовления постоянных магнитов.

Магнитная индукция используется иногда для изготовления постоянных магнитов, для чего кусок стали помещается на некоторое время в сильное магнитное поле.

Железо в магнитном поле.

Железо в отношении магнитных силовых линий обладает той особенностью, что эти линии легче проходят через железо, чем через воздух. Поэтому, если в какое-нибудь магнитное поле внести кусок железа, то силовые линии изменяют свое направление и большая часть их стягивается в железо. Железо для магнитных силовых линий представляет меньшее сопротивление, чем воздух. На рис. 27 показа-

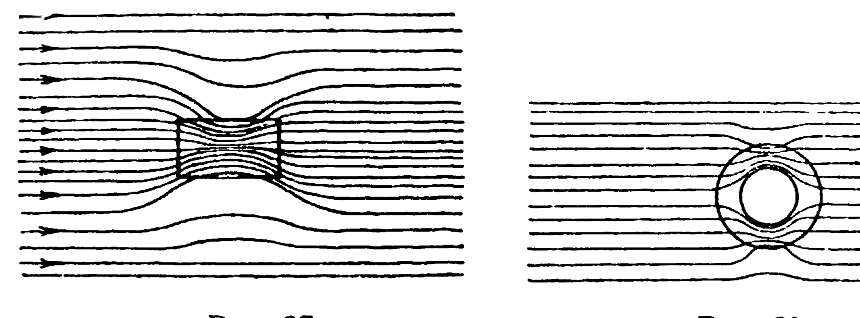


Рис 27. Рис. 28.

но магнитное поле, в котором помещен кусок железа. Из рисунка видно, что магнитные силовые линии изогнулись и прошли через железо. Очень любопытную картину дает помещение в магнитное поле какого-нибудь полого железного предмета. На рис 28 в качестве примера показано железное кольцо (цилиндр), помещенное в магнитное поле. Как видно из рисунка, силовые линии проходят по стенке цилиндра, а внутри цилиндра они отсутствуют; иначе говоря, внутри такого цилиндра нет никаких магнитных сил.

Это явление широко используется в радиотехнике для так называемого экранирования каких-либо приборов от действия магнитных полей. Для этой цели прибор, который

нужно защитить, заэкранировать от действия магнитного поля, помещают в замкнутый со всех сторон железный ящик. Силовые линии магнитного поля проходят по стенкам ящика и на самый прибор никакого влияния не оказывают.

Магнитное поле и электрический ток.

Между электрическим током и магнитным полем существует тесная связь, к рассмотрению которой мы и переходим. Существование электрического тока обязательно связано с образованием магнитного поля. Проделаем следующий чрезвычайно простой опыт. Около провода, по которому может быть пропущен электрический ток замыканием ключа К (рис. 29), расположим магнитную стрелку. При отсутствии тока в проводе магнитная стрелка располагается так, как было указано раньше (ее северный полюс направлен к северному полюсу земли). Но как только ключ К будет замкнут и по проводу потечет электрический ток, магнитная стрелка отклонится от своего первоначального положения и установится в каком-то новом направлении. Новое положение стрелка будет сохранять все время, пока по проводу проходит ток. Если разомкнуть ключ К, прекратится ток в проводе, и стрелка возвращается в свое первоначальное положение. Если определить силу, с которой ток в проводе действует на стрелку, то можно установить, что это действие будет тем сильнее, чем сильнее ток в проводе.

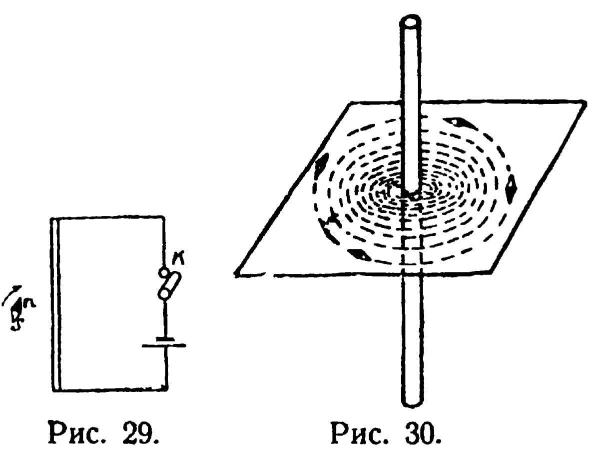


Рис. 29. Рис. 30.

Этот простой опыт позволяет сделать заключение, что вокруг провода, по которому проходит электрический ток, образуется магнитное поле. Для определения характера этого магнитного поля, для определения направления маг-

нитных силовых линий можно применить железные опилки, как и в случае постоянного магнита. Для этого пропускают провод сквозь кусок картона, на который насыпаются мелкие железные опилки точно так же, как мы это проделали в опыте с постоянным магнитом. При пропускании тока опилки располагаются концентрическими кругами, как это показано на рис. 30, при чем, чем ближе к проводу, тем гуще расположены опилки. Таким образом, мы можем сказать, что магнитные силовые линии в этом случае имеют форму окружностей, расположенных концентрически вокруг провода. Для определения направления магнитных силовых линий можно поступить следующим образом: расположить вокруг провода с током несколько маленьких магнитных стрелок (рис. 30). Стрелки при пропускании тока располагаются совершенно определенным образом, при чем их северные полюса покажут направление действия магнитных сил, направление магнитных силовых линий. Опыт показывает, что направление силовых линий зависит от направления тока в проводе. Рис. 31 показывает два положения магнитных стрелок при разном направлении тока; опыт позволяет вывести правило для определения направления магнитного поля вокруг провода с током.

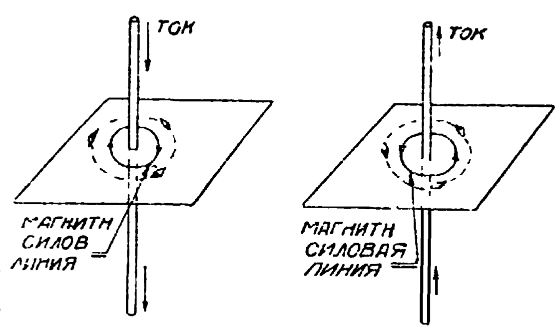


Рис 31.

Для определения направления магнитного поля существует несколько правил. Мы из этих правил приведем два наиболее легко запоминающиеся, а именно: правило штопора и правило правой руки.

Правило штопора говорит, что для определения направления магнитного поля вокруг провода с током нужно ввинчивать по направлению тока штопор; направление вращения рукоятки штопора покажет направление силовых линий магнитного поля.

Правило правой руки говорит, что северный полюс магнитной стрелки, расположенной под проводом, отклонится в сторону большого пальца правой руки, помещенной над проводом, ладонью к последнему и так, что остальные пальцы руки направлены по течению тока (рис. 32). Северный полюс и показывает, как известно читателю, направление силовых линий.

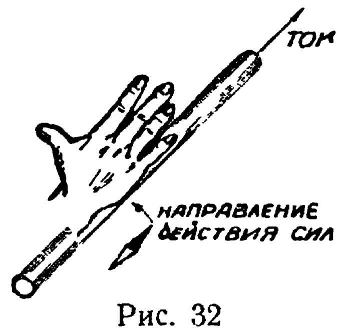


Рис. 32

Итак, мы установили следующее: 1) вокруг провода, по которому протекает ток, образуется магнитное поле, 2) силовые линии магнитного поля имеют форму окружностей, расположенных концентрически вокруг провода, 3) сила магнитного поля уменьшается с увеличением расстояния от провода, 4) сила магнитного поля прямо пропорционально силе электрического тока и 5) направление силовых линий поля зависит от направления тока в проводе и определяется правилом штопора или правилом правой руки.

Эти основные положения необходимо твердо помнить, так как на них основываются все дальнейшие рассуждения.

Круговой ток.

Круговым током называется ток, протекающий по проводу, согнутому в круг. Разберем какой вид имеет магнитное поле такого тока. На рис. 33 показано расположение магнитных силовых линий вокруг кругового тока, это расположение получено на основании предыдущих правил Из рисунка видно, что силовые линии входят с одной стороны в круг и выходят с другой стороны. Если взять круглый плоский кий магнит, подобный показанному на рис. 34, то мы уви-

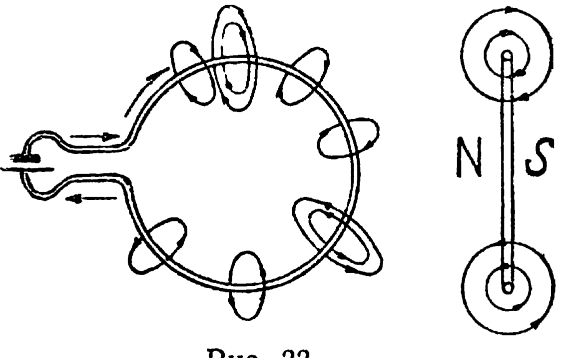


Рис 33.

дим, что расположение его силовых линий в точности соответствует расположению силовых линий кругового тока.

Это позволяет нам сделать заключение, что круговой ток, с точки зрения магнитного поля, подобен плоскому постоянному магниту, при чем северный полюс расположен с одной стороны круга (откуда силовые линии выходят), юж-

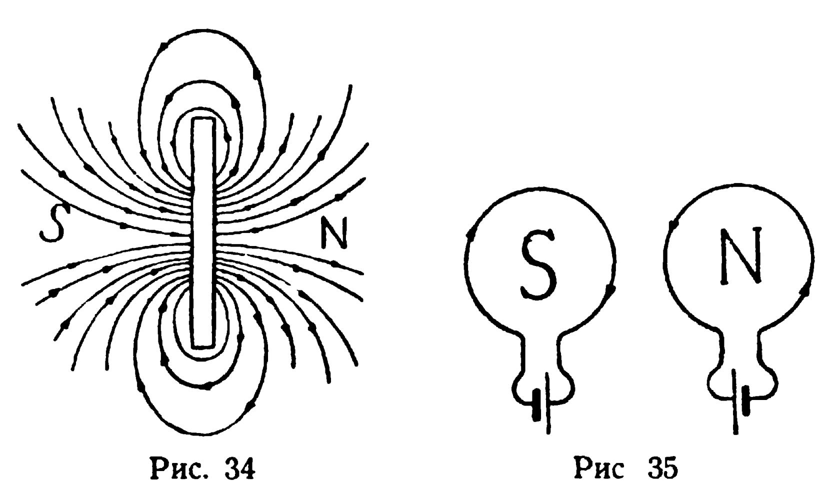


Рис. 34 Рис 35

ный полюс — с другой стороны (куда они входят). Для определения полярности в случае кругового тока существует следующее правило. Если смотреть на круговой ток с одной его стороны, то при прохождении тока по часовой стрелке на стороне, обращенной к наблюдателю, будет южный полюс; если ток проходит против часовой стрелки, то полюс будет северный. Изложенное правило иллюстрируется рис. 35.

Соленоид.

Соленоидом называется катушка, свернутая из нескольких витков провода. Рассмотрим магнитное поле, образуемое соленоидом, по которому пропущен электрический ток. Так как витки соленоида расположены близко друг к другу, то мы можем представить соленоид как ряд круговых токов, расположенных рядом один за другим и направления течения токов которых совпадают (рис. 36). Так как направление магнитных полей каждого кругового тока будут одина-

ково (ток в них протекает в одном направлении), то в конечном результате эти магнитные поля сложатся и образуют общий магнитный поток, показанный на рис. 36. Магнитные силовые линии как бы удлиняются, вследствие того что между двумя близко расположенными витками соле-

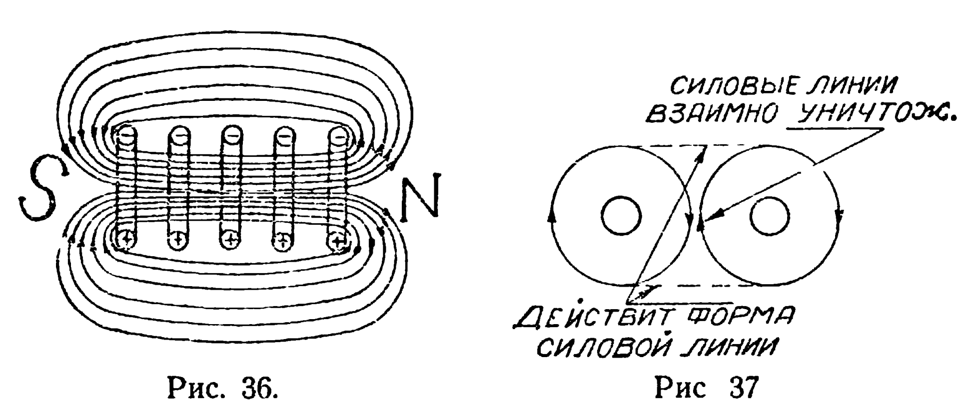


Рис. 36. Рис 37

ноида магнитные линии взаимно уничтожаются, так как будучи равными по величине, они направлены в разные стороны. Как это происходит, поясняется на рис. 37. Если внимательно рассмотреть форму магнитного поля соленоида то легко заметить, что это магнитное поле, если не считаться с полем внутри катушки, подобно магнитному полю постоянного стержневого магнита. На концах соленоида мы получаем северный и южный полюса, при чем правило для определения полюсов остается то же, что и для кругового тока.

Рис. 38

Таким образом, мы установили, что соленоид, по которому пропущен постоянный электрический ток, подобен постоянному стержневому магниту. Для подтверждения этого факта можно проделать интересные опыты, установив соленоид так, чтобы он мог легко вращаться. Для этой цели служит так называемый «станок Ампера», показанный на рис. 38. Концы соленоида изогнуты соответствующим образом, заострены и опущены в чашечки, на-

полненные ртутью; эти чашечки служат подпятниками для вращения соленоида и в то же время являются надежными контактами, подводящими ток к соленоиду. С такими двумя вращающимися соленоидами можно проделать опыты отталкивания и притягивания полюсов, которые мы делали с постоянными магнитами. Можно также один соленоид заменить постоянным магнитом и получить такие же результаты. Все это наглядно подтверждает установленное выше подобие соленоида постоянному стержневому магниту.

Электромагнит и его применение.

Если вместо нескольких витков провода взять катушку, намотанную многими витками изолированного провода, то магнитное поле такой катушки, образуемое при пропускании через нее электрического тока, будет значительно сильнее, чем магнитное поле соленоида. Еще больше усилится магнитное поле, если внутрь такой катушки поместить сердечник из мягкого железа. Такая катушка, внутри которой помещен железный сердечник и которая приобретает свойства магнита при прохождении по ней тока, носит название электромагнита.

Электромагниты получили колоссальное распространение во всех областях техники. Телеграф, телефон, сигнальные приспособления — все эти приборы основаны на действии электромагнита.

Не останавливаясь подробно на всех применениях электромагнита, мы в качестве примера рассмотрим принцип работы электромагнитного телеграфа Морзе.

Схема действия телеграфа дана на рис. 39. На отправительной станции устанавливается батарея Е и ключ К. Эти батарея и ключ соединены проводами с приемной станцией, на которой эти провода присоединяются к электромагниту М. Над электромагнитом расположен якорек Я, который в нормальном положении, при отсутствии тока в обмотке электромагнита, оттягивается от последнего помощью пружины. Якорек соединен с пером А, которое может писать на бумажной ленте, протягиваемой над этим пером. Перо касается ленты только тогда, когда якорек находится

в притянутом к электромагниту положении; когда якорек не притянут — перо не касается ленты и не пишет на ней. Когда на отправительной станции ключ нажат (цепь замкнута), ток проходит через электромагнит, якорек притягивается, и перо чертит линию на ленте; при разомкнутом ключе цепь разрывается, и перо не пишет. Нажимая ключ

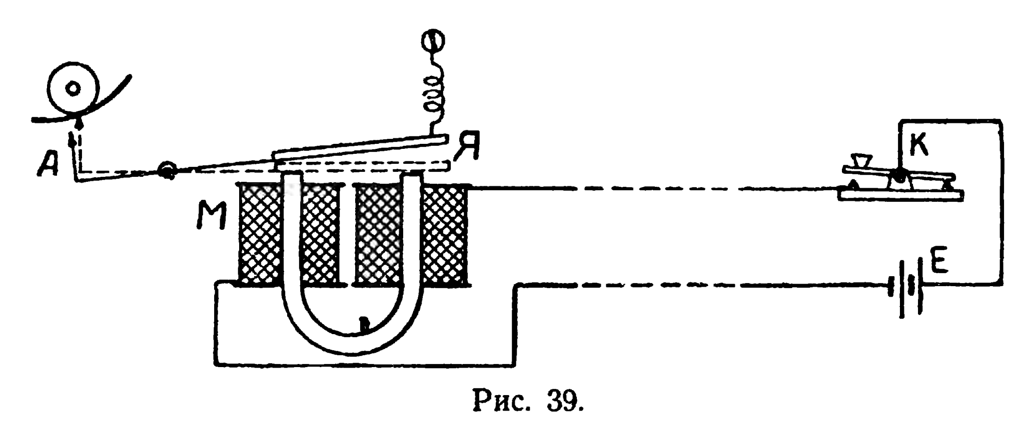


Рис. 39.

на короткое и более продолжительное время, мы получаем на ленте короткие и длинные черточки, из которых и составляются буквы по общеизвестной азбуке Морзе.

Электромагнитная индукция.

В предыдущих параграфах мы рассмотрели образование магнитного поля электрическим током. Сейчас остановимся на явлении обратном — на получении электрического тока помощью магнитного поля.

Впервые опыты получения тока помощью магнитного поля произвел Фарадей (1831 г.). На рис. 40 приведена схема первых опытов Фарадея. Катушка, намотанная изолированным проводом, присоединена к гальванометру, прибору, показывающему наличие и направление тока. В катушку вдвигается постоянный стержневой магнит. В момент вдвигания магнита гальванометр дает отклонение, т.-е. в этот момент в катушке появляется электрический ток. Ток протекает через катушку мгновенный — только в момент вдвигания магнита. Когда магнит будет вдвинут и остается

неподвижным внутри катушки, гальванометр отклонения не дает — ток через катушку не проходит.

Если теперь вынуть магнит из катушки, то в момент вынимания мы обнаружим опять протекание мгновенного тока, при чем в этом случае ток будет протекать в противоположном первому случаю направлении (стрелка гальванометра отклонится в другую сторону). Когда магнит будет вынут из катушки, ток прекратится.

Такие же явления тока в катушке мы заметим и не вдвигая магнит внутрь катушки, а лишь приближая и удаляя его от катушки, сила тока в этом случае, правда, будет значительно меньше.

Точно такие же явления мы будем наблюдать, заменив постоянный магнит электромагнитом.

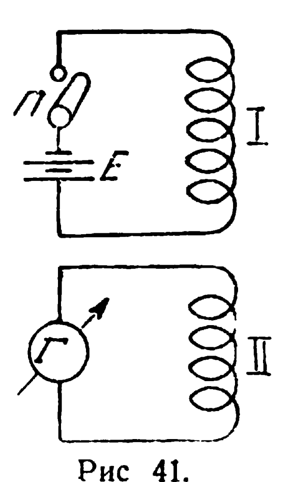


Рис. 40.

Рис 41.

Из описанных опытов можно сделать основной вывод: при пересечении магнитными силовыми линиями проводника, в последнем возникает электрический ток. Для того, чтобы пересечение имело место, необходимо, чтобы магнитные линии передвигались относительно провода, при чем совершенно безразлично, двигаются ли магнитные силовые линии, а проводник (катушка) остается неподвижным, или наоборот, двигается проводник, а магнит неподвижен — важно относительное перемещение силовых линий и проводника.

Ток, появляющийся в катушке, называется индуктированным (наведенным) током и все явление в целом носит название электромагнитной индукции.

То, что для наведения тока необходимо пересечение катушки магнитными силовыми линиями, подтверждает опыт, схема которого приведена на рис. 41. Катушка I помощью переключателя П может быть замкнута на батарею Е; катушка II замкнута на гальванометр Г. В момент замыкания

переключателя, в момент образования тока в I катушке, гальванометр дает отклонение, что показывает наличие тока в катушке II. Ток в катушке II будет мгновенный и время его протекания равно тому времени, какое нужно для изменения тока в I катушке от нуля до своей постоянной величины. Очевидно, что только тогда, когда ток в I катушке изменяется от 0 до постоянной величины имеет место увеличение числа силовых линий и пересечение ими витков II катушки. Когда ток в I катушке устанавливается постоянный, магнитное поле также делается постоянным, нарастание числа магнитных силовых линий и их передвижение отсутствуют и, следовательно, отсутствует ток в катушке II.

При размыкании тока в I катушке, во второй катушке опять появляется мгновенный ток, но уже обратного направления. Появление тока объясняется тем, что силовые линии, образованные первой катушкой, начинают исчезать и при своем движении пересекают витки II катушки; замыкание тока равноценно вдвиганию магнита, а размыкание его выдвиганию.

Описанные опыты являются подтверждением того, что для образования электрического тока необходимо пересечение провода магнитными силовыми линиями.

Направление индуктированного тока.

Необходимо несколько остановиться на определении направления индуктированного тока. Направление индуктированного тока зависит от направления магнитных силовых линий и направления их движения. Если мы будем вдвигать в катушку постоянный магнит северным полюсом, то ток в катушке будет протекать против часовой стрелки (если смотреть на катушку со стороны вдвигаемого магнита). При извлечении магнита из катушки ток будет течь по часовой стрелке. Индуктированный в катушке ток создает вокруг катушки в свою очередь магнитное поле Если читатель вспомнит правило определения полюсов у катушки, по которой проходит ток, то он заметит, что при вдвигании магнита в катушку северным полюсом на стороне катушки, об-

ращенной к магниту, также будет северный полюс. При выдвигании магнита полюс на этой стороне катушки будет южной. Катушка своими полюсами как бы противодействует перемещению магнита; при вдвигании магнита образовавшийся северный полюс препятствует магниту проникнуть в катушку; при выдвигании магнита южный полюс катушки будет притягивать северный полюс магнита и задерживать его извлечение из катушки.

Индуктированный ток всегда направлен так, что образует магнитное поле, препятствующее перемещению постоянного магнита.

Тоже самое мы будем наблюдать и при втором опыте с двумя катушками. При увеличении тока в I катушке, во второй катушке создается электрический ток, текущий в таком направлении, что образуемое этим электрическим током магнитное поле будет вызывать в I катушке ток, текущий в направлении, обратном направлению основного тока, т.-е. стремящийся уменьшить основной ток. Явление индукции в этом случае сводится опять-таки к тому, что индуктированный ток препятствует изменению электрического состояния всей системы. При размыкании тока в I катушке II катушка индуктирует в I катушке э д с, совпадающую по направлению с основной э д с, т.-е в этом случае индукция поддерживает силу протекающего тока. Вторая катушка препятствует изменению силы тока в I катушке, препятствует уменьшению в ней тока.

Правило правой руки.

На практике большею частью приходится иметь дело с движением провода в равномерном магнитном поле. Равномерным магнитным полем называется такое поле, в котором силовые линии прямолинейны, параллельны друг другу и число их на 1 кв. сантиметр в любом месте поля одинаково. Практически такое равномерное поле может быть получено в средней части между двумя полюсами магнита, обладающими значительной площадью и расположенными один против другого, как это показано на рис. 42.

Если в таком равномерном магнитном поле двигать провод так, чтобы он пересекал при своем движении силовые линии поля, то в проводе появится э д с и, если провод будет замкнут, например, на гальванометр, появится электрический ток. Для нас очень важно уметь определять направление э д с, направление тока в проводе.

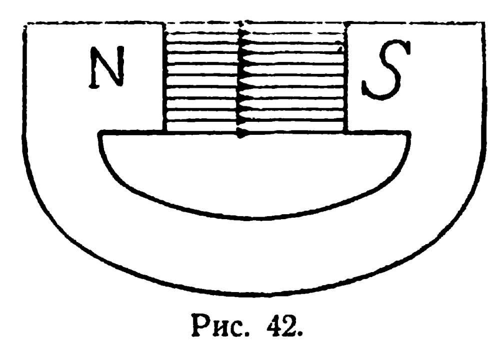


Рис. 42.

Для определения направления тока в проводе существует так называемое правило правой руки. Оно заключается в следующем: если расположить правую руку так, что силовые линии как бы входят в ладонь, а отодвинутый большой палец направлен по направлению движения провода, то остальные сжатые пальцы будут показывать направление тока. Сказанное иллюстрируется рисунком 43.

Это правило необходимо всегда помнить, так как оно позволяет находить направление тока, создаваемого при движении проводника в магнитном поле. Еще раз напоминаем, что для нас важно относительное движение провода; может, например, передвигаться магнит, а провод оставаться неподвижным — важно лишь пересечение силовых линий магнитного поля проводом.

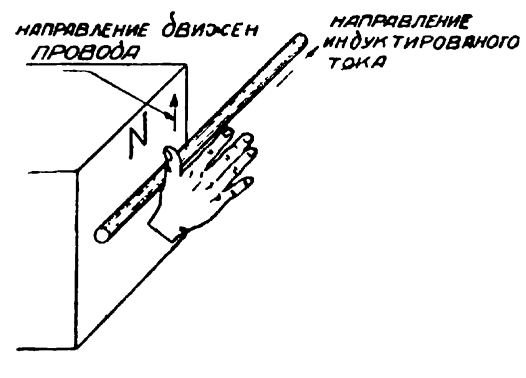


Рис. 43.

Изложенные нами правила являются только правилами для определения направления тока, при движении проводника в магнитном поле. По существу же, конечно, никакой внутренней связи между электромагнитной индукцией и расположением пальцев на руке нет. Однако, эти правила очень удобны, так как позволяют легче запомнить те законы, ко-

торые существуют между направлением движения провода и направлением магнитного поля.

Правила эти являются следствием одного общего закона, который установлен Ленцом. Закон Ленца гласит: если двигать проводник в магнитном поле, или наоборот двигать магниты мимо проводника, то ток, возникающий вследствие этого в проводнике, всегда направлен таким образом что создаваемое им поле препятствует происходящему движению. Так, например, на рис. 43 индуктированный ток создает магнитное поле, направление которого определяется правилом штопора. Над проводом линии этого поля направлены в ту же сторону, что и линии поля постоянного магнита, а внизу в обратную сторону, следовательно, магнитное поле, созданное током при взаимодействии с полем постоянного магнита, будет стремиться двигать провод вниз, т.-е. будет препятствовать происходящему движению провода.

Закон Ленца является непосредственным следствием закона сохранения энергии, примененного к электромагнитной индукции. Ведь индуктированный в проводе ток совершает некоторую работу (преодоление сопротивления провода). На ее совершение должна быть затрачена некоторая другая работа. Эта последняя и есть та работа, которую нужно совершить, чтобы преодолеть силу взаимодействия между магнитными полями индуктированного тока и постоянного магнита, препятствующую происходящему движению.

Закон Ленца это и есть тот физический закон, который определяет направление тока при электромагнитной индукции. А правило правой руки — это только способ для того, чтобы легче было запомнить те результаты, к которым приводит закон Ленца.

ГЛАВА III. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК.

Переменный ток.

В предыдущей главе мы рассмотрели движение проводника в равномерном магнитном поле и вывели правило для определения направления тока, индуктированного в проводнике. Рассмотрим теперь, какой ток будет образовываться

в проводе при круговом движении последнего в магнитном поле.

Пусть между двумя полюсами магнита в равномерном магнитном поле по окружности передвигается провод. На рис. 44 показан разрез провода и пунктирной линией направление его движения. Провод вращается по часовой стрелке, при чем вращается равномерно, т.-е. за одно и то же время провод проходит одинаковое расстояние.

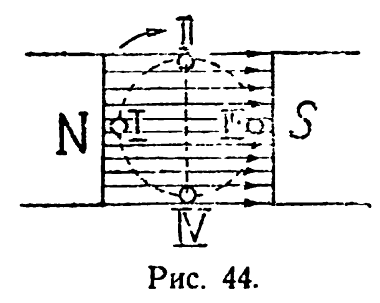


Рис. 44.

Для того, чтобы сделать нагляднее все происходящие в проводе изменения тока, мы эти изменения изобразим на графике. Условимся, что при течении тока от наблюдателя за чертеж мы величины тока будем откладывать вверх от горизонтальной оси, а при течении тока к наблюдателю из-за чертежа величины тока будем откладывать вниз — под горизонтальной осью. По горизонтальной оси откладываем время, а по вертикальной силу тока. Пусть отрезок T горизонтальной оси соответствует тому времени, в течение которого провод совершает один оборот (рис. 45).

Рассмотрим четыре положения провода при его вращении, показанные цифрами I—IV на рис. 44. На рис. 45 отрезки I—II, II—III и т. д. будут соответствовать времени, в течение которого провод переходит из одного положения в другое.

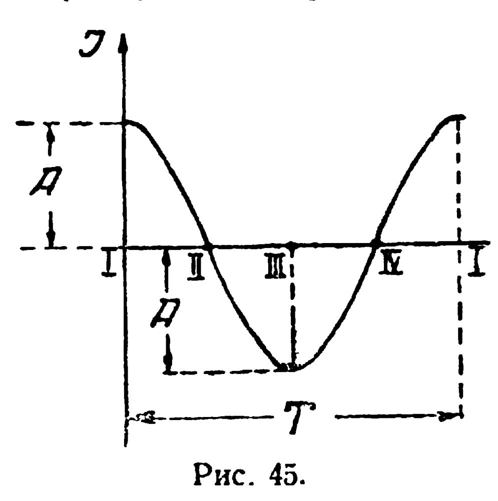


Рис. 45.

Для нас важно, какое количество силовых магнитных линий пересекает провод в том или другом положении; очевидно, что от этого зависит и сила тока, индуктированного в проводе. В положении I провод двигается перпендикулярно силовым магнитным линиям и, следовательно, в этом поло-

жении сила тока в проводе будет наибольшей. На графике (Рис. 45) мы эту наибольшую силу тока отложим по вертикальной оси в виде отрезка А. Применяя правило правой руки, легко определить, что ток в проводе течет при I положении от наблюдателя за чертеж; следовательно, согласно принятому выше условию отрезок А нужно отложить над горизонтальной осью.

При передвижении провода из I во II положение, он продолжает пересекать магнитные силовые линии, но уже пересекает их не перпендикулярно к ним, а под некоторым углом. Важно заметить, что угол, под которым происходит пересечение силовых магнитных линий, постепенно уменьшается по мере приближения провода к своему II положению. Уменьшение угла обозначает, что уменьшается и число силовых магнитных линий, пересекаемых проводом в единицу времени. Следовательно, и сила тока в проводе, по мере приблежения ко II положению, все время уменьшается. что показано на графике спадающей кривой (течение тока происходит в прежнем направлении).

Наконец, когда провод достигает второго положения, он очень незначительное время (мгновение) движется по направлению силовых линий, т. е. в это время пересечения силовых линий не происходит и ток в проводе отсутствует. На графике это соответствует точке II на горизонтальной оси.

Когда провод переходит во вторую четверть, т. е. двигается от положения II в положение III, он пересекает силовые линии уже в обратном направлении и, следовательно, направление тока в проводе меняется. На графике это показано тем, что величины тока при движении провода во второй четверти откладываются вниз от горизонтальной оси. При движении провода от положения II к положению III, угол пересечения с магнитными силовыми линиями увеличивается, в связи с чем увеличивается сила тока в проводе. В положении III силовые линии будут пересекаться проводом в наибольшем числе, и ток достигнет своего наибольшего значения, равного по величине значению тока при I положении провода, но обратного по направлению.

Дальнейшие изменения тока легко проследить на основе предыдущих рассуждений. В третьей четверти (провод двигается от положения III к положению IV) ток, оставаясь по направлению таким же, каким он был во второй четверти, будет постепенно уменьшаться, пока не достигнет нуля при IV положении. Далее ток, при движении провода в четвертой четверти, меняет свое направление, увеличивается и к концу четвертой четверти достигает той величины, какая была при первом положении. При дальнейшем вращении провода все явления повторяются в прежнем порядке.

График (рис. 45) полностью представляет собою изменения тока в проводе за время одного оборота провода.

Итак мы видим, что в проводе, в результате его вращения в равномерном магнитном поле, появляется электрический ток, регулярно меняющий свое направление и непрерывно меняющий величину. Такой ток носит название переменного тока.

Мы все время говорили о токе в проводе, представляя, что концы этого провода замкнуты на какое-нибудь сопротивление. В действительности мы должны были бы говорить об индуктированной электродвижущей силе в проводе которая, в случае замыкания тока на сопротивление, и вызывает электрический ток. Так как сила тока зависит от электродвижущей силы (закон Ома), то, очевидно, характер изменения величины *эдс* будет такой же, как и силы тока и график рис. 45 может служить графиком изменения переменной *эдс*.

Амплитуда, период, частота.

Итак, в отличие от постоянного тока, всегда текущего в одном направлении и имеющего какую-то определенную силу, переменный все время меняет свою силу и свое направление. Если в случае постоянного тока величина силы тока полностью нам характеризовала данный электрический ток, то при переменном токе нужна какая-то другая характеристика, так как понятие «сила тока» в данном случае ничего не говорит (сила тока все время меняется).

Переменный ток характеризуется главным образом двумя величинами: амплитудой тока и периодом.

Амплитудой переменного тока называется наибольшая величина силы тока, т. е. та величина, которую мы на графике приняли равной отрезку А.

Периодом называеется время, в течение которого переменный ток претерпевает все свои изменения и возвращается к своей первоначальной величине. Для рассмотренного нами примера периодом будет время, в течение которого провод совершает один полный оборот. На графике период обозначен буквой Т. Вместо периода для характеристики переменного тока очень часто применяют частоту тока. Частотой переменного тока называется число периодов в одну секунду. Для нашего случая частотой тока будет число полных оборотов провода в течение одной секунды. Совершенно очевидно, что период и частота — величины обратные. Математически это можно выразить, если обозначить частоту буквой f, следующим образом:

$$T = \frac{1}{f} \text{ или } f = \frac{1}{T}$$

Частоты переменных токов бывают самые различные. Переменный ток, применяющийся для освещения, нагревательных приборов, моторов и т. д., имеет частоту 25—50 периодов в секунду. Переменные токи, протекающие через телефон при приеме радиовещательных станций, имеют частоты от 100 до 10.000 периодов в секунду; это так наз. токи звуковой частоты. Наконец, в антенне передатчиков и приемников нам приходится иметь дело с токами так наз. высокой частоты или радиочастоты; частоты этих токов могут быть от 10.000 до 30.000.000 и даже более периодов в секунду.

Действующее значение переменного тока.

В практике определять силу переменного тока по его амплитуде оказалось неудобным, и для практических целей была введена другая величина, так наз. действующее или

эффективное значение силы переменного тока. Рассмотрим, что представляет собою эта новая величина.

Как показывает само название, сила тока в этом случае определяется по его действию. Какой эффект получится если через какое-нибудь сопротивление пропустить переменный ток? Когда мы имели дело с постоянным током, то мы видели, что при пропускании тока через сопротивление последнее нагревается, при чем количество теплоты пропорционально квадрату силы тока, протекающего через сопротивление.

При прохождении переменного тока через сопротивление, последнее, так же как и при постоянном токе, будет нагреваться, так как и в том и другом случае мы имеем дело с одним и тем же явлением — с передвижением электронов по проводу. Очевидно, что закон выделения теплоты остается прежним, и весь вопрос при подсчете количество выделенной теплоты будет заключаться в том — с какой силой тока придется считаться.

Мы имеем непрерывное изменение силы тока; в каждый данный момент сила тока отличается от силы тока предыдущего момента. Очевидно, что и количество теплоты, выделяемое в проводе в разные моменты, будет разное, т. е. выделение теплоты в проводе будет меняться со временем.

В результате прохождения переменного тока через сопротивление, в последнем за определенный промежуток времени выделится какое-то определенное количество теплоты, которую можно точно измерить. Мы можем пропустить через это же сопротивление постоянный ток и подобрать силу тока такой, чтобы за то же время, что и в предыдущем опыте, в сопротивлении выделилось то же количество теплоты, какое выделилось при переменном токе. этом случае мы можем сказать, что действие переменного и постоянного тока одинаково. И вот, под действующим значением переменного тока понимают такую величину постоянного тока, который производит то же тепловое действие что и данный переменный ток.

Легко понять, что действующее значение переменного тока всегда меньше амплитуды данного тока. Теория пока-

зывает, что для правильного синусоидального тока действующее значение в 1,41 раз (в $\sqrt{2}$ раз) меньше амплитуды. Математически это можно написать следующим образом:

$$I\ \text{действ.} = \frac{I\text{ампл.}}{1,41}$$

Точно так же, как мы установили понятие действующей силы тока, легко установить понятие действующего напряжения. Соотношение между амплитудой напряжения и действующим значением последнего такое же, как и для силы тока.

Итак, когда говорят, что «сила переменного тока равна 10 ампер», под этим следует понимать, что мы имеем дело с таким переменным током, амплитуда которого равна $10 \times 1,41 = 14,1$ ампера и который по своему тепловому действию равноценен постоянному току силой 10 ампер.

Пример. Городской переменный ток имеет напряжение, действующее значение которого равно 120 вольт. Чему равна амплитуда этого напряжения?

$$E = 120 \times 1,41 = 169,2\ \text{вольт.}$$

ГЛАВА IV. ТРАНСФОРМАТОР.

Принцип работы трансформатора.

На рис. 46 показаны две катушки I и II, индуктивно связанные друг с другом. Катушка I присоединена к источнику переменного тока; катушка II замкнута на вольтметр. Ранее мы проделывали подобный опыт с постоянным током, размыкая и замыкая ток в первой катушке и наблюдая индуктированную электродвижущую силу во второй катушке; мы видоизменяли опыт, производя вместо замыкания и размыкания тока его увеличение и уменьшение. Вспомним основное правило, которое мы установили в описанных опытах. Мы выяснили, что при увеличении тока в I катушке, во второй катушке наводится *эдс*, вызывающая ток, направленный обратно течению тока в первой катушке; наоборот, при уменьшении тока в I катушке *эдс* во II ка-

тушке вызывает ток, направленный в том же направлении, что и ток в первой катушке. Э д с во II катушке тем больше, чем быстрее изменение тока в I катушке.

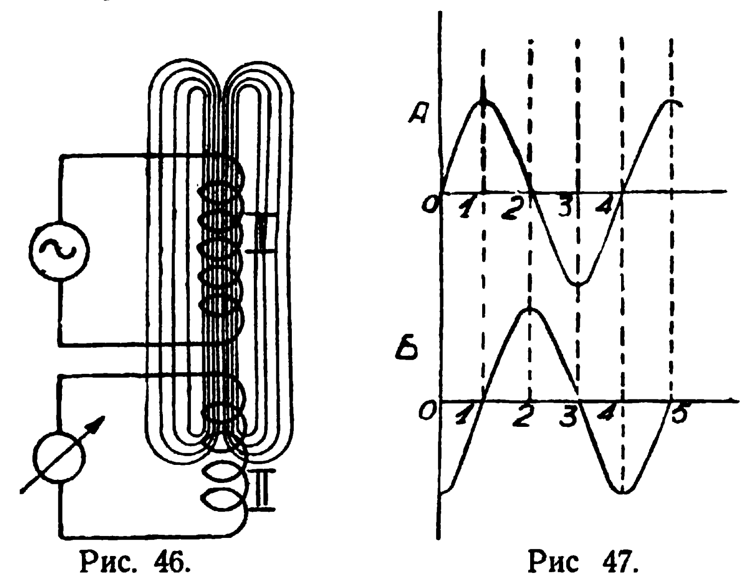


Рис. 46. Рис 47.

Рассмотрим теперь, какая *э д с* будет во II катушке, если через I катушку пропускать переменный ток, т. е. такой ток, который периодически увеличивается, уменьшается и меняет свое направление. Графически этот ток изображен на рис. 47А. Прежде чем рассматривать *э д с* во II катушке установим, когда переменный ток более быстро меняется, когда изменения переменного тока более резки. На рис. 48 дана часть графика переменного тока, а именно график, показывающий изменение тока за ¼ периода. Возьмем два совершенно одинаковых промежутка времени — один, когда ток близок к нулю (в начале ¼ периода), другой, когда ток близок к амплитуде (в конце ¼ периода). На рис. 48 эти про-

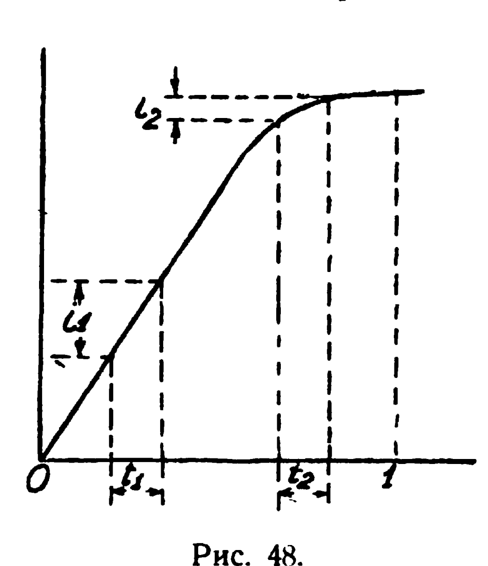


Рис. 48.

межутки времени обозначены через t_1 и t_2 (запомним, что $t_1 = t_2$). За время t_1 ток, как показано на графике, увеличится на величину i_1; за время t_2 произойдет увеличение тока на величину i_2. На чертеже ясно видно, что i_1 значительно больше i_2. Это позволяет сказать, что изменение тока происходит быстрее около нулевого значения тока и более медленно у наибольшего. Более подробное рассмотрение изменения переменного тока показывает, что наиболее быстро ток меняется, когда он проходит через нулевое значение и изменение тока равно нулю (ток не изменяет своей величины, остается постоянным), когда он достигает наибольшего значения. За время от нулевого значения до наибольшего быстрота изменения тока уменьшается.

Приведенное правило необходимо отчетливо себе представлять, так как на нем основаны все дальнейшие рассуждения.

Теперь мы можем перейти к рассмотрению нашей схемы (рис. 46). На рис. 47А показано изменение тока в катушке I; график рис. 47Б будет показывать наведенную э д с во II катушке (этот же график будет показывать и силу тока во II катушке, если она замкнута на какое-нибудь сопротивление). За время от 0 до 1 ток в катушке I возрастет, следовательно, за то же время во II катушке ток будет протекать в обратном направлении; так как скорость возрастания тока в первой катушке уменьшается к концу ¼ периода (время от 0 до 1), то ток во второй катушке постепенно уменьшается и, наконец, когда ток в катушке I достигает амплитудного значения (в это время, как было указано выше, скорость его изменения равна нулю) ток в катушке II будет равен нулю.

Во вторую четверть периода ток в катушке I начнет уменьшаться и вследствие этого в катушке II будет индуктироваться ток, протекающий в том же направлении, что и ток в первой катушке. Скорость изменения (уменьшения) тока в катушке I увеличивается к концу второй четверти периода и достигает наибольшего значения, когда ток становится равным нулю. В это время ток в катушке II будет наибольшим.

В третью четверть периода (время 2—3) ток в катушке I меняет свое направление и увеличивается. Во второй катушке будет протекать ток обратного направления и будет уменьшаться, так как скорость изменения тока в катушке I к концу третьей четверти периода уменьшается (ток достигает амплитудного значения).

Наконец, за четвертую четверть периода ток в катушке I начинает уменьшаться, протекая в том же направлении, как и за время третьей четверти периода. Следовательно, ток в катушке II будет протекать в обратном направлении, постепенно увеличиваясь к концу четвертой четверти периода. После этого все явления начинают повторяться с начала.

На графике А и Б рис. 47 нанесены все указанные выше изменения в обеих катушках. Рассматривая внимательно эти два графика, мы можем сделать следующие заключения: 1) в результате воздействия магнитного поля I катушки на катушку II в последней наводится переменная э д с, частота которой равна частоте тока, протекающего через катушку I, и 2) ток в катушке II отличается от тока в катушке I тем, что он как бы отстает по времени на четверть периода от первого тока, т. е когда ток катушки I равен максимальному (амплитуда) — ток в катушке II равен нулю, когда ток катушки I равен нулю, ток в катушке II имеет наибольшее значение и т. д. Последнее обстоятельство, а именно несовпадение величин по времени, носит название сдвига фаз [1]). Для нашего случая говорят, что ток в катушке II отстает по фазе на ¼ периода от тока в I катушке.

Нам остается еще рассмотреть, от чего зависит величина э д с во второй катушке. При данной частоте тока в I катушке, электродвижущая сила, наводимая в катушке II, зависит, как читателю уже известно, от того, сколько витков II катушки пересекаются магнитными силовыми линия-

[1]) Фазой называется то или другое положение или состояние процесса. Так как второй ток проходит через те же положения что и первый на ¼ периода позднее первого, то мы и говорим что он относительно первого тока отстает по фазе на ¼ периода.

ми I катушки, и от числа этих силовых линий, т. е. от силы магнитного поля I катушки. Так как сила магнитного поля I катушки зависит от силы тока I катушки (а последний зависит от напряжения источника переменного тока) и ее числа витков — величин для данного опыта постоянных — то, следовательно, э д с в катушке II будет зависеть только от числа витков этой катушки.

Таким образом, изменяя число витков II катушки, мы тем самым будем изменять и величину э д с, наводимой в этой катушке: чем больше будет витков иметь II катушка, тем больше будет наводимая в ней электродвижущая сила.

Подводя итог всему сказанному, мы видим, что две катушки, расположенные рядом друг с другом (индуктивно связанные), представляют собою прибор, позволяющий передавать энергию переменного тока из одной цепи (цепь катушки I) в другую цепь (цепь катушки II), при чем эта передача энергии из одной цепи в другую производится магнитным полем без непосредственного соединения обеих цепей и, кроме того, при этой передаче энергии возможно преобразование тока одного напряжения в ток другого напряжения. Такое преобразование напряжений переменных токов носит название трансформации переменного тока, а прибор, производящий это преобразование, называется трансформатором.

Трансформатор.

Если рассмотреть, как располагаются силовые линии магнитного поля катушки I (рис. 46), то мы заметим, что далеко не все силовые линии I катушки участвуют в пересечении витков II катушки. Часть силовых линий, как говорят, рассеивается помимо II катушки Вот это обстоятельство, не позволяющее полностью использовать все магнитное поле первой катушки, заставило отказаться от простого расположения катушки рядом друг с другом и перейти к более совершенной форме устройства трансформаторов.

Современный трансформатор представляет собою сердечник замкнутой формы, сделанный из мягкого железа, на

котором расположены I и II катушки так, как это схематически показано на рис. 49. Катушка I носит название первичной обмотки трансформатора, катушка II — вторичной обмотки.

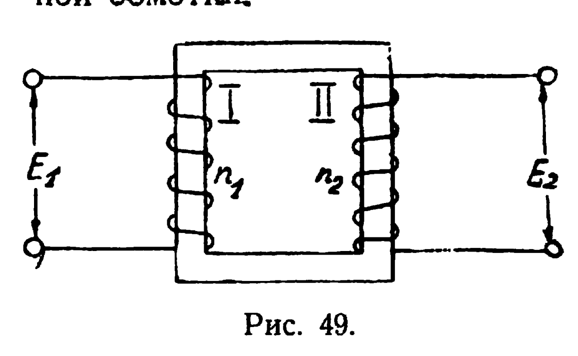


Рис. 49.

Такое устройство трансформатора приводит к тому, что: 1) с помощью железного сердечника все силовые линии магнитного поля первичной обмотки направляются в обмотку вторичную и участвуют в пересечении всех ее витков и 2) наличие железного сердечника увеличивает индуктирующее действие первичной обмотки на вторичную.

Рассмотрим основные соотношения в трансформаторе Напряжения I и II обмоток зависят от соотношения числа витков этих обмоток, а именно напряжение на зажимах вторичной обмотки так относится к напряжению на зажимах первичной обмотки, как число витков вторичной обмотки относится к числу витков первичной обмотки. Математически это можно выразить следующим образом:

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{n_2}{n_1}$$

где E_1 и E_2 — напряжения на зажимах первичной и вторичной обмотки, n_1 и n_2 — числа витков первичной и вторичной обмоток.

Указанное отношение, показывающее, во сколько раз напряжение вторичной обмотки больше (или меньше) подведенного к первичной обмотке напряжения, носит название коэфициента трансформации т. ч.

$$K=\frac{E_2}{E_1}=\frac{n_2}{n_1}$$

Трансформаторы, у которых вторичное напряжение больше первичного (т. е. во вторичной обмотке больше вит-

ков, чем в первичной), называются повышающими трансформаторами; те же трансфораторы, у которых вторичное напряжение меньше первичного, носят название понижающих трансформаторов.

Рассмотрим теперь случай нагруженного трансформатора, т. е. такого трансформатора, у которого вторичная обмотка замкнута на какое-нибудь сопротивление R (рис. 50)

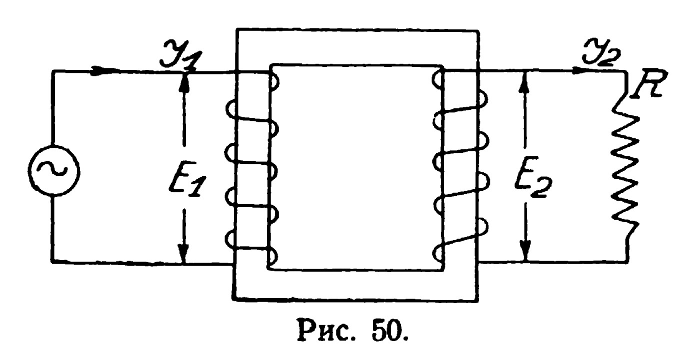


Рис. 50.

Под действием напряжения E_2 через сопротивление R пойдет электрический ток, величина которого определяется законом Ома. Рассмотрим этот случай на конкретном примере Пусть $E_1 = 100$ вольт, $E_2 = 400$ вольт ($K = 4$) и $R = 100$ омов. Ток вторичной обмотки, проходящий через сопротивление R, будет равен:

$$I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{400}{100} = 4 \text{ ампера.}$$

Нас интересует — какой ток будет проходить через первичную обмотку?

Так как от вторичной обмотки отбирается какой-то электрический ток при каком-то определенном напряжении, то, это, иначе говоря, обозначает, что от вторичной обмотки отбирается какая-то электрическая мощность. Откуда берется эта мощность во вторичной обмотке? Очевидно, что она доставляется во вторичную обмотку из обмотки первичной с помощью магнитного поля трансформатора. Следовательно, к первичной обмотке от источника тока должна подводиться такая же мощность, какая отбирается от вторичной обмотки (при условии, что в самом

трансформаторе не затрачивается мощности — об этом см. ниже). Т. е., иначе говоря, мощности первичной и вторичной обмоток должны быть равны между собой. Это правило и позволит выяснить — чему равен ток в первичной обмотке.

Мощность, отбираемая от вторичной обмотки, равна

$$W_2 = I_2 \times E_2 = 400 \times 4 = 1600 \text{ ватт.}$$

Следовательно, мощность первичной обмотки, будет также равна

$$W_1 = W_2 = E_1 \times I_1 = 1600 \text{ ватт.}$$

Так как мы знаем напряжение на зажимах первочной обмотки ($E_1 = 100$ вольт), то сила тока этой обмотки легко определяется:

$$I_1 = \frac{W_1}{E_1} = \frac{1600}{100} = 16 \text{ ампер.}$$

Таким образом, мы видим, что сила тока в первочной обмотке в четыре раз больше силы тока вторичной обмотки, т. е. больше во столько раз, во сколько больше напря жение вторичной обмотки по сравнению с напряжением первичной обмотки.

Для всех трансформаторов существует приближенное правило, что силы токов в обмотках трансформаторов относятся друг к другу обратно отношению напряжений. Для повышающего трансформатора это означает, что первичный ток во столько раз больше вторичного, во сколько первичное напряжение меньше вторичного напряжения. Математически указанное правило можно выразить следующим образом:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = K$$

Потери в трансформаторе.

В предыдущем параграфе мы говорили, что мощность подводимая к трансформатору от источника тока, должна равняться мощности, которую мы отбираем от вторичной

обмотки трансформатора. Это не совсем так, и мы сейчас введем необходимую поправку. Дело в том, что в самом трансформаторе происходят потери электрической энергии и, следовательно, мощность, подводимая к трансформатору, всегда должна быть больше мощности, отбираемой от вторичной обмотки; излишек мощности бесполезно теряется внутри трансформатора.

От чего же зависят потери внутри трансформатора? Потери в трансформаторе делятся на два вида. Прежде всего электрический ток, проходя по первичной и вторичной обмоткам трансформатора, нагревает последние, на что идет некоторая энергия. Во-вторых, в железном сердечнике под действием переменного магнитного поля появляются так наз. круговые «токи Фуко», которые нагревают сердечник и вызывают расход энергии. Для уменьшения потерь в трансформаторе обмотки его рассчитываются так, чтобы ток вызывал по возможности меньшее нагревание, а сердечник делается не из сплошного железа, а собирается из тонких железных полос, друг с другом изолированных; это делается для того, чтобы увеличть сопротивление токам Фуко и по возможности их уменьшить.

В хорошо сконструированном трансформаторе потери бывают обычно очень небольшими и тем меньше, чем больше мощность трансформатора, поэтому всеми соотношениями, о которых мы говорили в предыдущем параграфе, можно пользоваться при приближенных подсчетах.

Итак, мощность, отдаваемая трансформатором, всегда меньше мощности, подводимой к трансформатору. Отношение мощности, отбираемой от вторичной обмотки, к мощности, подводимой к первичной обмотке, носит название коэфициента полезного действия:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

Коэфициент полезного действия показывает, какая часть всей подводимой к трансформатору мощности полезно используется. В современных силовых трансформаторах коэфициент полезного действия достигает 98%.

ГЛАВА V. САМОИНДУКЦИЯ И ЕМКОСТЬ.

Самоиндукция.

Раньше мы рассмотрели влияние переменного магнитного поля одной катушки на другую катушку. Остановимся теперь на рассмотрении явления самоиндукции. Предположим, что катушка включена в цепь переменного тока (рис. 51). В результате протекания переменного тока вокруг катушки образуется переменное магнитное поле. Силовые линии этого поля, увеличиваясь и уменьшаясь в числе и меняя свое направление, будут пересекать витки катушки. В результате этого пересечения в катушке будет индуктироваться электродвижущая сила. Таким образом, в катушке на протекание по ней переменного тока будет оказывать влияние не только напряжение, приложенное к концам катушки, но и какая-то добавочная э д с, вызванная пересечением витков катушки магнитными силовыми линиями. Эта добавочная электродвижущая сила носит название электродвижущей силы самоиндукции, а все явления в целом называется явлением самоиндукции.

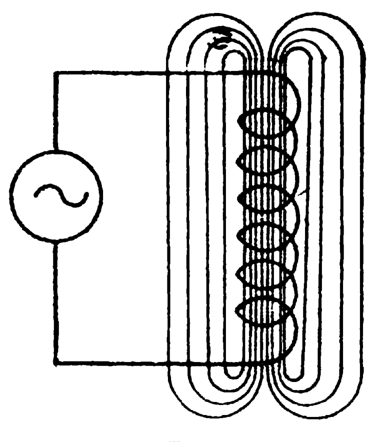


Рис. 51.

Направление э д с самоиндукции подчиняется тем правилам, которые были нами определены для случая двух индуктивно-связанных катушек, а именно: электродвижущая сила самоиндукции всегда направлена так, что она препятствует изменению силы тока, протекающего через катушку. Когда ток увеличивается, э д с самоиндукции направлена так, что вызывает добавочный ток, стремящийся уменьшить основной ток; наоборот, когда ток в катушке уменьшается, э д с самоиндукции вызывает ток, текущий в направлении основного тока. Нетрудно построить график изменения силы тока и э д с самоиндукции, который будет подобен графику для случая двух катушек (рис. 47).

Таким образом, мы видим, что явление самоиндукции сказывается в том, что для течения тока через катушку создается какое-то препятствие, и ток несколько уменьшается по величине. Действительно, если данную катушку включить в цепь постоянного тока (так как самоиндукция сказывается только при изменениях тока, то в этом случае она будет играть роль только при включении и выключении), то при одинаковом с переменным током напряжении, сила тока будет больше, чем при токе переменном. Катушка при переменном токе как бы увеличивает свое сопротивление; к сопротивлению проволоки катушки прибавляется еще какое-то сопротивление, обусловленное явлением самоиндукции. Это добавочное сопротивление носит название индуктивного сопротивления и обозначается буквой R_l.

Мы можем проделать два опыта, которые позволят нам определить — от чего зависит величина индуктивного сопротивления. Будем увеличивать частоту тока, оставляя напряжение источника тока и самую катушку без изменения; мы заметим, что сила тока с увеличением частоты будет уменьшаться, т. е. сопротивление катушки будет увеличиваться. Второй опыт будет заключаться в том, что мы будем изменять размеры катушки и число ее витков. Мы заметим, что увеличение катушки и числа ее витков будет уменьшать силу тока или, иначе говоря, увеличивать ее сопротивление. Способность самой катушки по-разному влиять на протекание по ней тока зависит от размеров и числа витков и характеризуется так наз. коэфициентом самоиндукции. Мы говорим, что данная катушка обладает таким-то коэфициентом самоиндукции или, просто, «самоиндукцией», понимая под этим различные свойства катушки в отношении пропускаемого через нее тока. Чем коэфициент самоиндукции больше (чем больше самоиндукция катушки), тем меньше будет переменный ток, тем больше индуктивное сопротивление катушки.

Для определения величины коэфициента самоиндукции введены в электротехнике особые единицы — генри. так как очень часто приходится иметь дело с катушками,

коэфициент самоиндукции которых значительно меньше генри, то для определения самоиндукции пользуются единицей — миллигенри, при чем

1 миллигенри (mH)$=10^{-3}$ генри (H)
1 генри (H) $=1000$ миллигенри (mH)

В радиотехнике для измерения коэфициента самоиндукции часто применяется еще меньшая мера — сантиметр:

1 сантиметр$=10^{-9}$ генри (H)
1 генри$=10^{9}$ см.$=1.000.000.000$ см.

Не следует смешивать сантиметр для измерения коэфициент самоиндукции с сантиметром, служащим для измерения длины. Следует всегда помнить, что сантиметр самоиндукции является только одной миллиардной частью генри.

Итак, мы выяснили, что индуктивное сопротивление катушки самоиндукции тем больше, чем больше коэфициент самоиндукции и чем больше частота тока.

Величина индуктивного сопротивления может быть подсчитана по формуле.

$$R_l = 6{,}28 \times f \times L$$

Здесь приняты следующие обозначения:

R_l — сопротивление в омах.
L — коэфициент самоиндукции в генри.
f — частота тока.

На определении коэфициента самоиндукции для различных катушек мы останавливаться не будем, так как это не входит в программу данной книжки.

Соединение самоиндукций.

Катушки самоиндукции могут быть соединены между собой известными читателю способами: параллельно, последовательно и смешанным образом. Общая самоиндукция

определяется по тем же правилам, которые нами были даны раньше для соединения сопротивлений. При последователь-

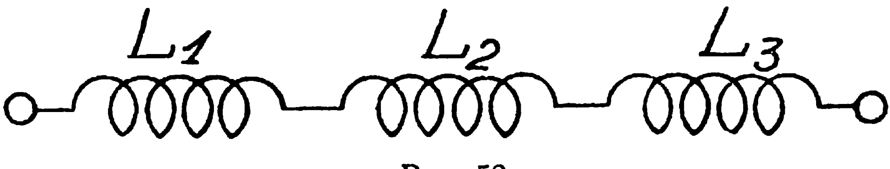


Рис. 52.

ном соединении (рис. 52) общая самоиндукция равна сумме соединенных самоиндукций:

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

При параллельном соединении (рис. 53) общая самоиндукция меньше наименьшей из включенных самоиндукций. Для случая двух самоиндукций, показанного на рис. 60, имеем:

$$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

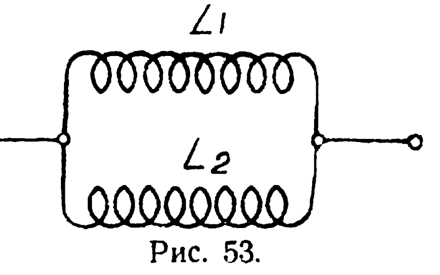


Рис. 53.

При смешанном соединении общая самоиндукция подсчитывается так же, как при смешанном соединении сопротивлений.

Следует иметь в виду, что данные правила верны только тогда, когда соединенные катушки магнитно друг с другом не связаны, т. е. когда магнитное поле одной катушки не может влиять на другую катушку.

Взаимоиндукция.

В том случае, если две катушки магнитно (индуктивно) связаны друг с другом, на общую величину самоиндукции оказывает влияние то взаимодействие, которое существует между катушками. Это взаимодействие между магнитными полями двух катушек называется взаимоиндукцией, и сила взаимодействия характеризуется коэфициентом взаимоиндукции.

Ясно, что при наличии взаимоиндукции между двумя катушками, соединенными последовательно (или параллель-

но), возможны два случая. Либо поля в обеих катушках направлены в одну сторону и при взаимодействии усиливают друг друга, либо они направлены в разные стороны, и при взаимодействии ослабляют друг друга. Поэтому при наличии взаимоиндукции между двумя катушками, их общая самоиндукция может быть либо больше, либо меньше суммы самоиндукций обеих катушек. Если изменять взаимное расположение катушек, то будет изменяться и их взаимоиндукция, а вместе с тем и общая самоиндукция обеих катушек. Этим обстоятельством пользуются для устройства так называемых вариометров — приборов, коэфициент самоиндукции которых может изменяться в определенных пределах.

Сопротивление трансформатора.

После того как мы познакомились с явлением самоиндукции, мы должны вернуться снова к вопросу о трансформаторе и выяснить, каким сопротивлением обладает трансформатор и от чего это сопротивление зависит. Обмотка трансформатора представляет собой катушку самоиндукции с большим коэфициентом самоиндукции и, следовательно, представляет собой определенное индуктивное сопротивление для того переменного тока, которым эта обмотка питается. В обычных трансформаторах это индуктивное сопротивление в несколько раз превышает то омическое сопротивление, которым обладает обмотка и, следовательно, полное сопротивление трансформатора, которое состоит из омического и индуктивного, определяется, главным образом, величиной этого последнего. Но индуктивное сопротивление не является постоянным для трансформатора, а зависит от силы тока (нагрузки) во вторичной его обмотке и вот почему.

Между первичной и вторичной обмотками трансформатора существует взаимоиндукция (если бы ее не было, то трансформатор не работал бы, так как изменение магнитного поля первичной катушки не действовало бы на вторичную). Поэтому не только магнитное поле первичной об-

мотки действует на вторичную, но и наоборот — магнитное поле вторичной обмотки действует на первичную, т. е. магнитные поля обеих катушек взаимодействуют между собой. При этом магнитное поле вторичной обмотки уменьшает магнитное поле первичной и, следовательно, как бы уменьшает самоиндукцию первичной обмотки, а вместе с тем и ее индуктивное сопротивление. Поэтому при увеличении силы тока во вторичной обмотке возрастает так же сила тока в первичной обмотке. Если омическое сопротивление обмотки не велико, то при большом токе во вторичной обмотке, индуктивное сопротивление, а вместе с тем и общее сопротивление первичной обмотки может оказаться настолько малым, что по ней пройдет слишком сильный ток, и трансформатор сгорит. Поэтому в трансформаторе никогда не следует замыкать накоротко вторичную обмотку, так как при этом трансформатор может сгореть.

Конденсатор.

Конденсатор представляет собою две или несколько металлических пластин, расположенных друг над другом и разделенных между собою диэлектриком. Пластины конденсатора, иначе называемые обкладками, делаются из меди, фольги или станиоля. В качестве диэлектрика применяется воздух, парафинированная бумага, слюда, масло.

Составим цепь, показанную на рис. 54, и проследим за амперметром при различных положениях переключателя П. В момент замыкания переключателя на I контакт мы заметим, что стрелка амперметра отклонится на одно мгновение на некоторый угол, после чего вернется в нулевое положение и будет в нем оставаться, несмотря на то, что переключатель замкнут на батарею. В момент перевода переключателя в положение II мы опять заметим отклонение стрелки прибора на очень непродолжительное время, при чем это отклонение будет уже в обратную сторону.

Этот простой опыт позволяет сделать следующие выводы: при замыкании конденсатора на батарею от последней к конденсатору проходит некоторое количество электричества, при чем это электричество собирается (конден-

сируется) на конденсаторе и заряжает его до напряжения равного напряжению батареи.

В момент зарядки по проводам, соединяющим конденсатор с батареей, проходит электрический ток, показываемый мгновенным отклонением стрелки амперметра. При замыкании заряженного конденсатора накоротко (положе- II переключателя П) конденсатор разряжается, т. е. избыток электронов с одной пластины переходит на пластину, где

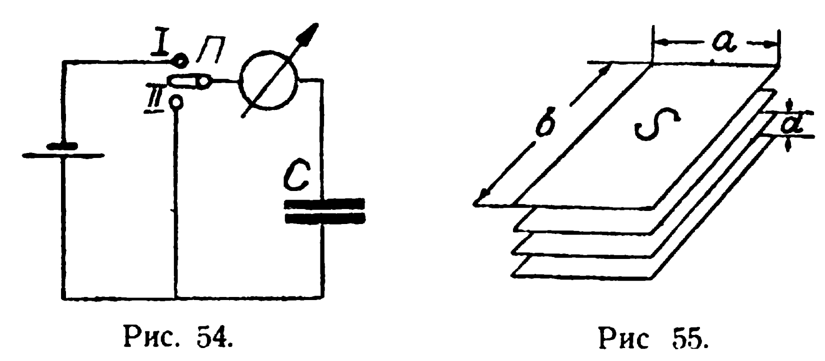


Рис. 54. Рис 55.

электронов недостает; этот разряд конденсатора, связанный с переходом электронов с одной пластины на другую по замыкающему проводу, образует в последнем электрический ток, показываемый мгновенным отклонением стрелки амперметра.

Количество электричества, которое способен вместить на себе конденсатор, зависит от двух причин: от напряжения, до которого заряжается конденсатор (от напряжения батареи), и от размеров и свойств самого конденсатора. Один конденсатор при данном напряжении может вместить больше электричества, другой — меньше. Эта способность конденсатора вмещать на своих обкладках большее или меньшее количество электричества, характеризуется особой величиной — емкостью конденсатора.

Емкость измеряется в специальных единицах — фарадах (F). Конденсатор обладает емкостью в 1 фараду тогда, когда при напряжении между его обкладками = 1 вольту на нем собирается количество электричества, равное 1 кулону. В практике емкость в 1 фараду является слишком большой емкостью, и поэтому для измерения емкости ча-

сто-вместо фарады применяется миллионная часть фарады — микрофарада ( )

$$1F = 1.000.000\ \mu F.$$

В радиотехнике очень часто емкость выражают в еще меньших единицах — в сантиметрах. Соотношение между этими всеми единицами следующее:

$$1\ F = 9 . 10^{11}\ \textit{см.}$$

$$1\ \mu F = 9 . 10^{5}\ \textit{см.} = 900.000\ \textit{см.}$$

Не следует смешивать сантиметры, которыми определяется емкость, с сантиметрами для выражения длины. Сантиметры для определения емкости следует рассматривать лишь как некоторую часть фарады.

Как мы уже указали, емкость конденсатора зависит от его геометрических размеров и свойств диэлектрика, помещенного между обкладками. Емкость многопластинчатого конденсатора может быть подсчитана по формуле:

$$C = \frac{\epsilon S\,(n-1)}{12{,}56\ d}$$

Здесь приняты следующие обозначения:

C — емкость в сантиметрах.

S — площадь одной обкладки ($S = a \times b$ см. рис. 55) в кв. *см*.

n — общее числю пластин.

d — расстояние между пластинами в *см*.

ϵ — особый коэфициент, так называемая «диэлектрическая постоянная», характеризует собой свойства диэлектрика. Таблица числовых значений для различных материалов приводится ниже.

Таблица

Парафин	1,8
Эбонит	2
Шеллак	2
Плотная бумага	2,3
Слюда	5,8
Стекло	6
Воздух	1

Выше было указано, что количество электричества накапливаемое на обкладках конденсатора, будет тем больше, чем больше емкость конденсатора и чем больше напряжение, подводимое к обкладкам конденсатора. Это можно выразить следующей формулой:

$$Q = C \times V,$$

где Q — количество электричества в кулонах, C — емкость конденсатора в фарадах и V — напряжение в вольтах.

Конденсатор в цепи переменного тока

При присоединении конденсатора к источнику постоянного тока мы наблюдали прохождение тока в соединительных проводах только в момент включения, т. е. в продолжение того времени, которое требуется, чтобы уравнять напряжение на обкладках конденсатора с напряжением источника постоянного тока. После того, как конденсатор зарядился и напряжения уравнялись, тока в цепи нет; иначе говоря, конденсатор постоянного тока не пропускает.

Посмотрим теперь, что получится, если конденсатор присоединить к источнику переменного тока (рис. 56). Напряжение источника в этом случае все время меняется. Там как мы знаем, что напряжение на обкладках конденсатора в каждый данный момент должно равняться напряжению источника тока, то мы можем сказать, что в данном случае и напряжение на обкладках конденсатора будет изменяться в соответствии с изменением напряжения источника тока. Например, напряжение источника увеличивается от нуля до амплитудного значения, также будет увеличиваться напряжение на обкладках. При уменьшении напряжения источника тока будет уменьшаться и напряжение конденсатора. Далее напряжение источника тока переменит знак; в соответствии с этим переменятся и заряды на обкладках конденсатора — та обкладка, которая была заряжена положительно, станет заряженной отрицательно и наоборот. Дальше весь процесс повторяется сначала.

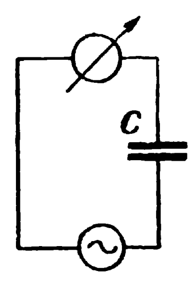


Рис. 56.

Такое непрерывное изменение напряжения на обкладках связано с непрерывным изменением заряда конденсатора, т.е. с количеством электричества на его обкладках. При увеличении напряжения количество электричества увеличивается, при уменьшении напряжения — уменьшается. Иначе говоря, все время к конденсатору то приходит от источника тока некоторая порция электронов, то отбирается обратно. Это связано с прохождением электронов по проводу, т. е. с образованием тока в цепи. Прибор, включенный в цепь, будет показывать ток все время, пока конденсатор присоединен к источнику переменного тока.

Итак, мы установили, что конденсатор пропускает через себя переменный электрический ток, точнее говоря, в цепи с конденсатором мы наблюдаем протекание переменного тока.

От чего же зависит сила тока в цепи т. е. какое сопротивление оказывает конденсатор переменному току? При данном напряжении величина количества электричества, скопляющегося на обкладках конденсатора в моменты амплитуды напряжения, зависит от емкости конденсатора. Сила тока, в свою очередь, зависит от количества электричества, проходящего по проводу в одну секунду. Совершенно очевидно, что количество электричества, проходящего по проводу, будет тем больше, чем больше емкость конденсатора, и чем чаще проходит каждая порция электричества, т. е. чем больше частота переменного тока. Таким образом, сила тока, текущего через конденсатор, тем больше, чем больше емкость и чем больше частота тока.

Мы можем вместо конденсатора поставить обычное омическое сопротивление и подобрать его таким, чтобы сила тока была той же, что и при данном конденсаторе. Отсюда мы можем сделать вывод, что конденсатор обладает каким-то сопротивлением. Это сопротивление, в отличие от омического и индуктивного сопротивления, носит название емкостного сопротивления. Величина его может быть подсчитана по формуле:

$$Rc = \frac{1}{6{,}28 \times f \times C}$$

Здесь R_c — емкостное сопротивление в омах, f — частота тока и C — емкость конденсатора в фарадах.

Как видно из формулы, сопротивление уменьшается с увеличением частоты. В отличие от самоиндукции сопротивление конденсатора переменному току тем меньше, чем больше емкость конденсатора и чем больше частота тока.

Соединение конденсаторов.

Подобно сопротивлениям и катушкам самоиндукции, конденсаторы могут быть соединены по нескольку штук между собою. Здесь мы также имеем три рода соединений: последовательное, параллельное и смешанное.

Соотношения для определения общей емкости здесь будут обратные тем, какие мы имели в случае соединения сопротивлений и катушек.

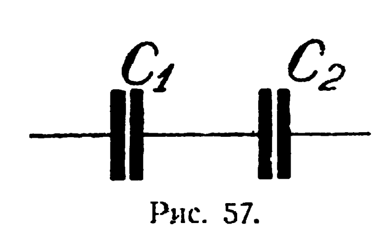


Рис. 57.

При последовательном соединении (рис 57) общая емкость меньше емкости наименьшего из включенных конденсаторов. Для двух последовательно соединенных конденсаторов общая емкость может быть подсчитана по формуле

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

При параллельном соединении (рис. 58) общая емкость равна сумме всех включенных емкостей:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$$

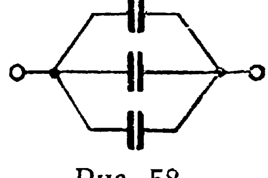


Рис. 58.

Расчет смешанного соединения производится по общим правилам, описанным нами для случая соединения сопротивлений и катушек самоиндукции.

Мощность переменного тока.

Заканчивая главу о переменном токе, мы остановимся вкратце, не вдаваясь в подробности, на вопросе о мощности переменного тока. В том случае, если цепь, по который

течет переменный ток, обладает чисто омическим сопротивлением, мощность, выделяемая током в этой цепи, определяется так же, как и в случае постоянного тока, т. е. $W = EI = I^2R$, где E и I — действующие значения напряжения и силы переменного тока.

Если же, помимо омического сопротивления, цепь обладает еще сопротивлением индуктивным или емкостным, то в протекающем по цепи токе появляется «безваттная составляющая» тока, которая не выделяет в цепи никакой мощности. Следовательно, если в цепи есть индуктивное или емкостное сопротивление, то мощность, выделяемая переменным током, будет всегда меньше, чем произведение из напряжения на силу тока (так наз. «вольт-амперы» в цепи). Чем больше индуктивное или емкостное сопротивление цепи по сравнению с омическим, тем больше безваттная составляющая тока и тем меньшая часть вольт-ампер выделяется в виде мощности в цепи. Если бы цепь вовсе не обладала омическим сопротивлением, и все сопротивление являлось бы чисто емкостным или чисто индуктивным, то весь ток в цепи был бы безваттным, и в ней вовсе не выделялось бы мощности независимо от числа вольт-ампер в цепи. Таким образом формула, приведенная выше, определяет ту наибольшую мощность в цепи, которая может быть выделена, если цепь обладает чисто омическим сопротивлением.

ГЛАВА VI. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

Одной из важнейших областей электротехники являются электрические измерения, т. е. измерения всех тех величин, которые встречаются в электротехнике. Конечно, за недостатком места нам не удастся обстоятельно познакомить наших читателей с вопросом электрических измерений, но мы приведем хотя бы краткие сведения об основных электрических измерениях и опишем принцип устройства основных электроизмерительных приборов

Важнейшими величинами в электротехнике являются напряжение и сила тока, для измерения которых служат специальные приборы, — так называемые вольтметры, и амперметры.

Амперметры.

Мы опишем сначала устройство амперметров, так как вольтметры, применяемые в технике, представляют собой в сущности те же амперметры, отличающиеся от обычных амперметров только некоторыми особенностями и способом включения в электрическую цепь.

Для измерения силы тока, т. е. для устройства амперметра, нужно, очевидно, воспользоваться одним из тех действий, которые производит электрический ток, чтобы по силе этих действий судить о силе самого тока. В амперметрах для этой цели применяется одно из двух основных действий электрического тока — тепловое или магнитное. Соответственно этому все применяемые в электротехнике амперметры, можно разделить на два основных типа — тепловые или магнитные.

Принцип действия теплового амперметра заключается в следующем. Как мы знаем, на преодоление сопротивления проводника электрическим током затрачивается мощность $W = I^2R$, где I — сила тока, протекающего по проводнику, а R — его сопротивление. Вся эта мощность расходуется на нагревание проводника, и, следовательно, по степени нагревания проводника можно судить о силе тока, по нему протекающего. Для того, чтобы судить о нагревании проводника, пользуются тем обстоятельством, что при нагревании тела расширяются. Следовательно, по степени удлинения проводника, по которому течет ток, можно судить о силе этого тока. Устройство теплового амперметра показано на рис. 59. Между двумя клеммами 1 и 2 натянута нить Н, через которую пропускается измеряемый ток. К середине нити прикреплена оттяжка О, которая обернута вокруг вращающегося валика b, на другой конец которой натягивается пружина n. К валику при-

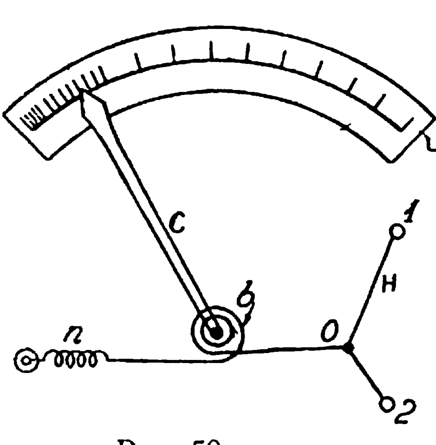


Рис. 59.

креплена стрелка, которая при вращении валика движется по шкале с делениями ш. Когда ток нагревает нить, она удлиняется, вследствие чего оттяжка перемещается влево и поворачивает на некоторый угол направо валик со стрелкой. Чем сильнее ток, проходящий по нити, тем больше удлиняется нить и тем больше угол, на который поворачивается стрелка. Если предварительно проградуировать амперметр, т. е. сравнить его с другим амперметром и нанести на шкалу деления, соответствующие определенным силам тока, то в дальнейшем по этим делениям и положению стрелки амперметра между ними, можно прямо отсчитывать силу тока, протекающего через нить амперметра.

Так как тепловые действия переменного и постоянного тока совершенно одинаковы и даже вернее действующая сила переменного тока определяется именно сравнением его теплового действия с тепловым действием постоянного тока, то, очевидно, что один и тот же тепловой амперметр одинаково пригоден для измерения как постоянного, так и переменного тока.

В приборах, построенных на магнитных действиях тока, эти магнитные действия могут быть использованы различным образом. Мы рассмотрим устройство двух наиболее распространенных типов магнитных амперметров. Первый из них это магнитоэлектрический амперметр Депре. Устройство его схематически изображено на рис. 60. Между полюсными наконечниками НН постоянного магнита ММ расположена легкая катушка-рамка Р, намотанная из тонкого провода. С рамкой жестко связана стрелка С, и вся эта система может вращаться вокруг оси О. Подвижная система удерживается в определенном (нулевом) положении двумя легкими пружинками (не указаны на рис.). Через эти же пружинки подводится ток к рамке Р. Пока через рамку не течет ток, она, как уже указывалось, удерживается пружинками в нулевом положении.

Если же через рамку течет ток, то создаваемое этим током магнитное поле взаимодействует с магнитным полем постоянных магнитов и поворачивает рамку на некоторый угол. Этот угол будет тем больше, чем сильнее ток, про-

ходящий через рамку. По положению, которое занимает при этом стрелка на шкале, непосредственно отсчитывается сила тока, протекающая через рамку.

Если пропустить через рамку не постоянный, а переменный ток, то в течение одного полупериода этот ток будет стремиться повернуть рамку в одну сторону, а в течение другого полупериода — в другую. Так как изменения направления тока происходят очень быстро, то рамка не

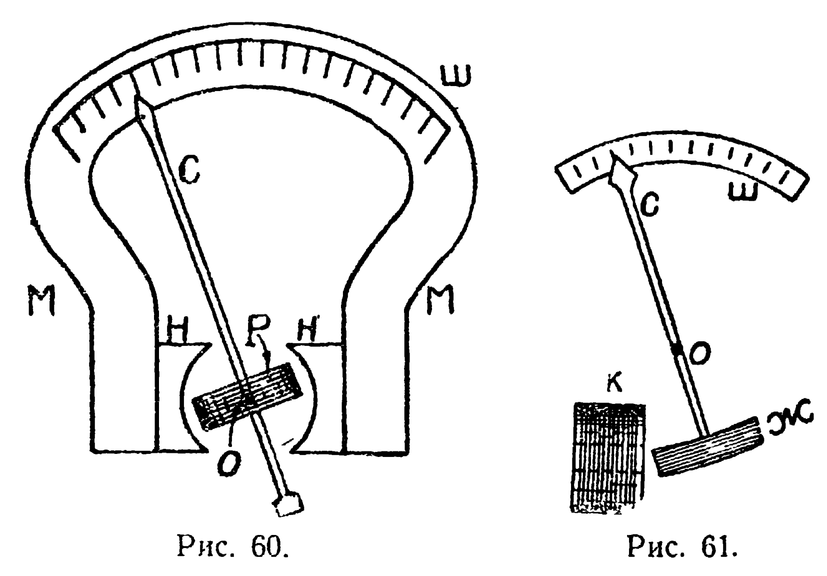


Рис. 60. Рис. 61.

будет успевать следовать за этими толчками в обе стороны и останется на месте. Ясно поэтому, что приборы Депре пригодны для измерения только постоянного тока.

Другим распространенным типом магнитных приборов является так называемый электромагнитный амперметр, или амперметр с мягким железом. Устройство его схематически изображено на рис. 61. На конец, вращающийся вокруг оси О стрелки С, насажен кусочек мягкого железа Ж, который может вдвигаться внутрь катушки К; пока в катушке нет тока, стрелка сдерживается в начальном положении (нулевом) двумя пружинками (не указаны на рис.). Если же через катушку К пропустить ток, то магнитное поле, созданное этим током, будет втягивать железо и повернет стрелку на некоторый угол, тем больший, чем больше сила

тока, протекающего по катушке. По положению стрелки на шкале можно непосредственно отсчитывать силу тока в катушке.

Так как переменное магнитное поле будет (так же как и постоянное), действовать на мягкое (без остаточного магнетизма) железо, то, очевидно, что электромагнитные амперметры в одинаковой мере пригодны для измерения как постоянного, так и переменного тока.

Во всех описанных амперметрах самыми свойствами прибора (толщиной нити, упругостью пружин, числом витков катушек и т. д.) определяется та наибольшая сила тока, при которой стрелка прибора дойдет до последнего деления шкалы. Однако, в целом ряде случаев приходится измерять силы тока гораздо большие, чем те, которые соответствуют максимальному отклонению прибора. В этом случае к амперметру добавляется шунт, т. е. присоединяется параллельно известное сопротивление, через которое ответвляется часть измеряемого тока (рис. 62). Если известно сопротивление прибора и сопротивление шунта, то легко подсчитать, какая часть тока ответвляется через шунт и, следовательно, во сколько раз весь ток, проходящий через прибор и шунт вместе, будет больше измеряемого, т. е. проходящего только через прибор тока.

Рис. 62.

Пример. Мы располагаем амперметром на 1 ампер, имеющем внутреннее сопротивление в 0,2 ома. Какой шунт надо включить, чтобы при помощи этого прибора можно было измерять токи до 5 ампер.

Очевидно, что при токе в 5 ампер, через шунт должен проходить ток в 4 ампера, а через прибор в 1 ампер, т. е. в четыре раз меньше. Так как токи в параллельных цепях обратно пропорциональны сопротивлениям, то со-

противление шунта должно быть в четыре раза меньше, чем сопротивление прибора, т. е. 0,05 ома.

Способ включения амперметра в цепь определяется самой задачей, для которой амперметр предназначен. Так как он служит для измерения силы тока в цепи, то включать его следует в цепь последовательно, т. е. так, чтобы через прибор (или через прибор с шунтом) проходил весь ток, который должен быть измерен.

Вольтметры.

Другой важной задачей в области электрических измерений является измерение разности потенциалов (напряжения) между какими-либо двумя точками электрической цепи. Для этой цели и служат вольтметры.

Очевидно, что о разности потенциалов между какими-либо двумя точками можно судить по силе тока, протекающего через включенный между этими точками прибор. Чем больше будет разность потенциалов на зажимах прибора, тем сильнее будет ток в приборе. Если сопротивление прибора R известно и сила тока, протекающего через прибор, есть I, то разность потенциалов на зажимах прибора определится по закону Ома:

$$V = IR.$$

Таким образом для измерения напряжения мог бы служить обычный амперметр, если сопротивление этого амперметра известно.

Для того, чтобы измерить разность потенциалов между двумя точками цепи, нужно включить такой измерительный прибор, от присоединения которого эта разность потенциалов не изменялась бы. Легко сообразить, какими свойствами должен обладать прибор, удовлетворяющий этому требованию.

Пусть нам требуется измерить разность потенциалов на зажимах сопротивления R (рис. 63), т.-е. между точками в и г. Очевидно, что если мы включим между этими точками прибор (2), сопротивление которого невелико по сравнению с R, то общее сопротивление цепи между точками в и

г заметно изменится. Вместе с тем изменится и разность потенциалов между этим точками. Если же сопротивление вольтметра 2 очень велико по сравнению с сопротивлением R, то от включения прибора общее сопротивление цепи между точками в и г, а вместе с тем и разность потенциалов между этими точками, сколько нибудь заметно не изменится. В таком случае, зная сопротивление прибора 2 и ток по нему протекающий, мы сможем с очень небольшой ошибкой определить то напряжение, которое существовало между точками в и г до включения прибора. Таким образом, для того, чтобы от включения вольтметра не изменялось бы напряжение на зажимах цепи, нужно, чтобы сопротивление той цепи, на зажимах которой мы измеряем напряжение. При измерении различных напряжений это обстоятельство всегда нужно иметь в виду.

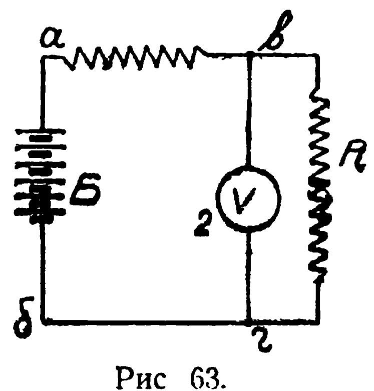


Рис 63.

Есть еще одна причина, по которой выгодно делать вольтметры с очень большим сопротивлением. Ведь мы включаем вольтметр параллельно цепи, напряжение в которой мы хотим измерить. Следовательно, ток в вольтметре расходуется для нас бесполезно. Если бы сопротивление вольтметра было бы мало, то через него протекал бы очень большой ток, и включение вольтметра сильно увеличивало бы расход тока в цепи. Поэтому вольтметры делаются всегда с больш м внутренним сопротивлением. Так как сопротивление самого прибора обычно трудно сделать очень большим, то к прибору присоединяется специальное добавочное сопротивление.

Вольтметр представляет собой в сущности амперметр, рассчитанный на очень слабые токи — обычно в несколько миллиампер (такие амперметры называются миллиамперметрами) с включенным последовательно с прибором большим добавочным сопротивлением. Чем больше это добавочное сопротивление, тем сильнее тот ток, который будет проходит через вольтметр при данном напряжении, и тем

больше чувствительность вольтметра. Для того, чтобы при измерении напряжений не приходилось каждый раз умножать силу тока на сопротивление прибора, шкала вольтметра прямо градуируется в вольтах.

Пример. Какие напряжения можно измерять при помощи прибора, который представляет собой миллиамперметр на 10 миллиампер, с внутренним сопротивлением в 100 ом.

Очевидно, что напряжение на зажимах прибора при токе в 10 *ма* должно составлять

$$\frac{10 \times 100}{1000} = 1 \text{ вольт.}$$

т.-е. наш миллиамперметр может служить в качестве вольтметра на 1 вольт.

Пример. Какое добавочное сопротивление нужно включить последовательно с указанным выше миллиамперметром для того, чтобы с его помощью можно было измерять напряжения до 150 вольт.

Чтобы при 150 вольтах через прибор протекал ток в 10 миллиампер, нужно чтобы сопротивление прибора составляло

$$\frac{150}{0{,}01} = 15000 \text{ ом.}$$

Так как сам прибор обладает внутренним сопротивлением в 100 ом, то для того, чтобы превратить его в вольтметр, к нему нужно присоединить последовательно добавочное сопротивление в 15.000—100==14.900 ом.

Рис 64

При помощи вольтметра можно измерять напряжения на зажимых любой цепи, в том числе и на зажимах какого-либо источника тока (батареи, динамомашины и т. д, рис. 64). При этом, если сопротивление вольтметра велико по сравнению с внутренним сопротивлением источника, то падение напряжения внутри источника, происходящее вследствие того, что через вольтметр

течет ток, будет мало, и мы можем без большой ошибки считать, что измеряем напряжение, даваемое источником без нагрузки, т.-е. электродвижущую силу источника тока.

Таким образом, для измерения напряжения на зажимах источника тока нужно применять вольтметр, обладающий большим сопротивлением по сравнению с внутренним сопротивлением источника. Несоблюдение этого правила может быть причиной недоразумений. Например, при включении любительского вольтметра (обладающего обычно малым сопротивлением) на кенотронный выпрямитель с большим внутренним сопротивлением, вольтметр, вследствие внутреннего падения напряжения в кенотроне, показывает напряжение гораздо меньшее, чем то, которое фактически попадает на аноды ламп.

Этими краткими указаниями об электрических измерениях и электроизмерительных приборах мы закончим нашу книгу.

СОДЕРЖАНИЕ.